

filierea tehnologică • profil **TEHNIC**  
domeniul de pregătire generală **PRELUCRĂRI LA CALD**

# Bazele procedeeelor de prelucrare la cald

Programa școlară aprobată de

Ministerul  
Educației,  
Cercetării,  
Tineretului  
și Sportului



Manual pentru clasa a X-a

Editor: Costin DIACONESCU

Redactor: Gabriela NIȚĂ

Corector: Lura GÎGĂ

Tehnoredactor: Banu GHEORGHE

Copertă: Valeriu STIHI

#### Referenți:

Prof. univ. dr. ing. Octavian Donțu

Ing. prof. grd. I Silvia Pătrașcu

© Copyright CD PRESS, 2010

Editat și distribuit de Editura CD PRESS

București, str. Logofătul Tăutu nr. 67, sector 3

Cod 031212

Tel.: 021.337.37.17, 021.337.37.27, 021.337.37.37

Fax: 021.337.37.57

e-mail: office@cdpress.ro

www.cdpress.ro

#### Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

**Bazele procedurilor de prelucrare la cald : manual pentru clasa a X-a /**

Aurel Ciocîrlea-Vasilescu, Ion Neagu, Ioana Arieș, Manuela Ianina Bușe. -

București : CD PRESS, 2010

ISBN 978-606-528-066-3

I. Ciocîrlea-Vasilescu, Aurel

II. Neagu, Ion

III. Arieș, Ioana

IV. Bușe, Manuela-Ianina

62(075.35)

Manualul este realizat în conformitate cu programa școlară pentru clasa a X-a, aprobată prin OMECTS nr. 4463 din 12.07.2010, **filiera tehnologică, profil tehnic, domeniul de pregătire generală Prelucrări la cald**, nivelul 2 de calificări profesionale (**sudor, turnător, forjor, tratamentist, modelier**).

Editura CD PRESS este recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior (CNCSIS)  
www.cncsis.ro

## NOȚIUNI GENERALE DE TURNĂTORIE

- 1.1. Definirea noțiunilor de piesă brută turnată
- 1.2. Forma de turnare
- 1.3. Garnitura de model. Părți componente
- 1.4. Importanța producției de piese turnate în industria constructoare de mașini
- 1.5. Echipamente, utilaje, SDV-uri specifice operației de turnare
- 1.6. Turnarea manuală
- 1.7. Turnarea mecanizată
- 1.8. Controlul calității pieselor turnate
- 1.9. Defectele pieselor turnate. Cauze
- 1.10. Remanierea pieselor cu defecte de turnare

### COMPETENȚE ȘI DEPRINDERI

Noțiunile prezentate în acest capitol contribuie la înțelegerea fenomenelor privind:

- tehnologia de prelucrare prin turnare;
- principiile de funcționare ale mașinilor, echipamentelor și utilajelor din secțiile de turnare.

## 1.1. DEFINIREA NOȚIUNILOR DE PIESĂ BRUTĂ TURNĂTĂ

**Turnarea** este procedeul tehnologic de obținere a semifabricatelor sau a pieselor brute, prin umplerea cu metal sau cu aliaj topit a unei cavități executate special, într-o formă de turnare cu dimensiunile apropiate sau identice cu cele ale produsului finit.

Înainte de utilizare, atât semifabricatul, cât și piesa brută turnată trebuie supuse unui procedeu de prelucrare, deoarece cel puțin una dintre dimensiuni este mai mare decât cea a piesei finite. Acest surplus de material care trebuie îndepărtat se numește *adaos de prelucrare*.

Procedeul de turnare este cu atât mai rentabil, cu cât piesa turnată are mai multe suprafețe identice cu cele ale piesei finite, căci necesită foarte puține prelucrări ulterioare, adaosul de prelucrare fiind redus la minim.

Aliajele care se toarnă în piese sunt: *feroase* (fonta și oțelul) sau *neferoase* (aliajele cuprului, ale aluminiului, ale magneziului, ale zincului, ale staniului, ale plumbului).

**Fontele** turnate în piese sunt următoarele:

- fontele cenușii cu grafit lamelar, din care se execută piese pentru mașini agricole, mașini textile, automobile etc.;
- fontele cenușii cu grafit nodular, din care se execută piese care necesită o bună rezistență la uzură, precum: segmenti de pistoane, arbori cotiți, cilindri de laminare etc.;
- fontele maleabile, din care se obțin roțile dințate, arborii cotiți, axele cu came etc.

**Oțelurile** turnate în piese sunt următoarele:

- oțelul-carbon cu un conținut de carbon cuprins între 0,08 și 0,55%, cu o rezistență de rupere la tracțiune cuprinsă între 40 și 60 daN/mm<sup>2</sup> și cu o duritate cuprinsă între 110 și 169 HB;

- oțelurile cu un conținut scăzut de carbon, care se folosesc pentru piese ce urmează a fi cementate, precum: roți dințate, axuri, came;
- oțelurile cu un conținut mai ridicat de carbon, care se utilizează pentru piese solicitate la uzură: șuruburi mele, roți dințate, arbori cotiți;
- oțelurile aliate, care permit obținerea de piese cu caracteristici mecanice superioare.

**Aliajele de aluminiu** turnate în piese sunt următoarele:

- aliaje Al-Si, caracterizate prin bune proprietăți de turnare; se pretează la obținerea pieselor cu o configurație complicată;
- aliaje Al-Cu, întrebuințate pentru piese precum: pistoane, chiulase motor etc.;
- aliaje Al-Si-Cu, utilizate pentru piese rezistente la coroziune și pentru piese de rezistență din componenta motoarelor;
- aliaje Al-Mg, caracterizate prin rezistență bună la apa de mare și la agenții chimici;
- aliaje Al-Zn, folosite pentru piese care necesită stabilitate dimensională ridicată.

**Aliajele cuprului turnate** în piese sunt următoarele:

- aliajele Cu-Zn, care au simbolul AmT și servesc la turnarea armăturilor pentru conducte de apă, abur (alame obișnuite) și pentru turnarea pieselor pentru nave (alame speciale, AmXT);
- aliajele Cu-Sn, Cu-Al și Cu-Pb-Sn (bronzuri), care prezintă rezistență ridicată la coroziune, rezistență medie la rupere și la șoc, precum și calități deosebite la uzură și frecare;
- aliajele speciale, din care fac parte: aliajele Cu-Cr, folosite pentru suporturi de electrozi, și aliajele Cu-Be întrebuințate pentru arcuri.

## 1.2. FORMA DE TURNARE

Pentru obținerea unei piese turnate este necesară umplerea cu topitură de metal sau de aliaj a unei cavități executate special într-o **formă de turnare**.

Prin răcirea (solidificarea) topiturii, se obține piesa turnată, care are dimensiunile și configurația cavității.

Dacă vrem să obținem piesa (1) din figura 1.1. într-o formă realizată dintr-un material denumit **amestec de formare**, se practică o cavitate (2), al cărei contur este identic cu conturul exterior al piesei.

Cu ajutorul **modelului** (3), confecționat din lemn sau din metal, se realizează cavitatea. Utilizând un model din lemn se pot executa 100-2.000 de forme. Cu un model metalic confecționat din aliaje de aluminiu se pot realiza cca 70.000 de turnări, cu unul din fontă - cca 120.000 de formări, iar cu modelele confecționate din bronz sau alamă - 150.000 de formări.

**Miezul** (4), realizat dintr-un material special, numit **amestec de miez**, servește pentru obținerea golului interior (5) din piesă.

Pentru a avea o anumită poziție în cavitatea formei, miezurile se așază în locașuri speciale, denumite **mărci**, obținute prin intermediul unor proeminențe (7) aflate pe conturul exterior al modelului. Cadrele metalice (6) se numesc **rame de formare** și au rolul de a susține materialul formei.

Ramele de formare se utilizează perechi, asamblarea făcându-se cu ajutorul unor **știfturi** (8).

Metalul topit ajunge în cavitate prin intermediul unor canale (9) care alcătuiesc **rețeaua de turnare**, executată cu modele speciale.

Operațiile de executare a formei de turnare reprezintă **formarea**. Formarea se poate realiza manual sau mecanizat.

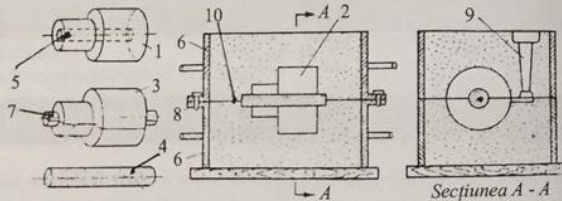


Fig. 1.1. Obținerea unei piese turnate.

Operațiile de extragere a piesei turnate prin distrugerea formei și îndepărtarea miezului din piesa turnată alcătuiesc așa-numita **dezbatere a formei**.

**Planul de separație** (10) reprezintă suprafața de contact dintre părțile formei, impusă de posibilitățile de extragere a modelului din formă.

## 1.3. GARNITURA DE MODEL. PĂRȚI COMPONENTE

**Garnitura de model** cuprinde toate elementele care contribuie la realizarea cavității pentru turnarea metalului lichid, și anume: modelul piesei turnate, modelul rețelei de turnare, cutii de miez, plăcile-model, modelul maselotei etc. Dintre aceste componente, cea mai importantă este modelul propriu-zis, folosit pentru obținerea piesei turnate.

Plăcile-model se utilizează la formarea mecanizată și cuprind mai multe modele, permițând realizarea unei productivități mai mari la formare.

Garniturile de model se pot executa din lemn, metal sau din rășini. Speciile de lemn folosite la executarea garniturilor de model sunt: pinul, molidul, teiul, aninul, mesteacănul, fagul, stejarul.

Pentru realizarea modelelor metalice se utilizează aliaje de aluminiu, fonte cenușii, bronzuri, alame și aliaje de plumb.

Pentru realizarea modelelor, a cutiilor de miez și a plăcilor-model se utilizează cel mai frecvent aliajele de aluminiu, deoarece sunt ușor prelucrabile și rezistente la coroziune.

Fontele cenușii se întrebuințează la executarea modelelor și a plăcilor-model, la producția în serie mare. Acestea prezintă dezavantajul că se oxidează ușor și se manevrează greu, din cauza masei mari.

Bronzurile și alamele se folosesc pentru executarea modelelor mici și cu forme complexe, la producție în serie mare.

Aliajele de plumb se utilizează pentru executarea modelelor, la producția de serie mică.

Rășinile se folosesc la executarea modelelor mici și mijlocii, la producție în serie mare.

Materialele ușor fuzibile, în compoziția cărora intră, în cantități egale, stearina și parafina, se folosesc pentru modele mici și mijlocii, la turnarea de precizie, în cazul producției în serie mare.

Garniturile de model se execută în ateliere specializate, denumite **modelărie**.

## 1.4. IMPORTANȚA PRODUCȚIEI DE PIESE TURNATE ÎN INDUSTRIA CONSTRUCTOARE DE MAȘINI

**Turnarea** este unul dintre procedeele care permite obținerea de piese cu forme, dimensiuni și utilizări diferite. Obținerea de obiecte metalice prin turnare este o îndeletnicire foarte veche a omului.

În epoca modernă, prin dezvoltarea industriei, s-a impus mărirea considerabilă a producției de piese turnate.

Pieseile obținute prin turnare sunt variate și pot avea o greutate de la câteva grame până la sute de tone. Ele se folosesc în aproape toate domeniile industriei.

Pieseile turnate au o pondere importantă în construcțiile de mașini. Astfel, circa 55% din greutatea unui tractor și 85% din greutatea unei mașini-unelte grele o reprezintă componentele realizate prin turnare.

Această utilizare pe scară largă a pieselor turnate se explică prin **avantajele** pe care le prezintă procedeul de turnare, și anume:

- obținerea unor piese cu configurație complexă;
- realizarea unor piese care nu necesită prelucrări mecanice sau care implică prelucrări mecanice simplificate (volum mic de prelucrări);
- comparativ cu alte procedee de prelucrare prin turnare, se obțin piese cu un cost mai redus;
- prin mecanizare dezvoltată, se pot obține producții de masă, cu păstrarea dimensiunilor și a proprietăților mecanice.

Este dificil, însă, să obții prin turnare piese cu caracteristici mecanice comparabile cu cele ale pieselor obținute prin deformare plastică. Acesta este principalul **dezavantaj** care împiedică extinderea procesului de turnare în toate domeniile industriei.

## 1.5. ECHIPAMENTE, UTILAJE, SDV-URI SPECIFICE OPERAȚIEI DE TURNARE

## 1.5.1. Amestecătoare

Amestecătoarele sau malaxoarele sunt utilaje care realizează mecanizat procesul de amestecare a componentelor amestecului de formare. Amestecătorul este constituit dintr-un recipient, numit cuvă, în care se prepară amestecul, și dintr-un echipament care efectuează amestecarea componentelor și asigură condiții optime formării peliculelor.

Organul mobil care asigură amestecarea ar putea fi un melc, cum este la jgheabul de amestecare prezentat în figura 1.2 a; un rotor cu palete, ca în cazul amestecătorului cu palete din figura 1.2 b; niște tăvălugi (role) și raclăți, ca în figura 1.2 c. Din punctul de vedere al regimului de funcționare, amestecătoarele se grupează în **amestecătoare continue** și în **amestecătoare discontinue** sau **în cicluri**. Amestecătoarele continue au un regim de preparare-evacuare neîntrerupt, iar amestecătoarele discontinue prepară intermitent, în porții (șarje).

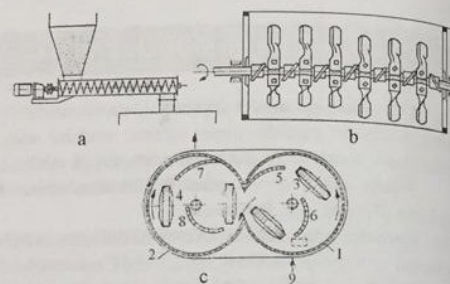


Fig. 1.2. Tipuri de amestecătoare:  
1 – manta; 2 – sită; 3 – ax vertical; 4 – role; 5, 6, 7, 8 – raclăți;  
9 – orificiu de evacuare.

## 1.5.2. Separatoare

Din considerente economice, este indicat ca în rețeta unui amestec pentru forme, cantitatea de amestec refolosit să fie cât mai mare. Cantitatea de amestec vechi (refolosit) care intră în rețeta unui amestec de formare variază între 0–90% și depinde de: calitatea amestecului, condițiile impuse, natura lianților. Un amestec folosit poate fi reintrodus la preparare numai după ce este în prealabil pregătit, adică este supus operațiilor de separare a bucăților metalice, de sfărâmare a bulgărilor și de cernere.

Separarea bucăților metalice se face cu separatoare magnetice, la stațiile de preparare a amestecurilor din turnătoriile de aliaje feroase, și cu separatoare electrice, de tip Corona, la turnătoriile de aliaje neferoase.

Separatorul magnetic (Fig. 1.3) este, în principiu, un electromagnet multipolar, montat într-un tambur de antrenare la transportoarele cu bandă de cauciuc. Pe arbore (4) este montat tamburul (1) în care se găsesc amplasate bobinele (2 și 3). Înfășurarea bobinelor se face în mod alternativ (în același sens cu acele de ceasornic sau în sens contrar), obținându-se astfel polii indicați în figură. Banda de cauciuc (5) aduce amestecul de la dezbateri. Amestecul de formare este nemagnetic și cade în direcția 6, iar impuritățile feroase (cuie, bavuri, armături, stropi de metal etc.) sunt reținute în continuare lipite de bandă, urmând a se dezlipi de pe ea în zona 7, în care câmpul magnetic pierde din intensitate.

Separarea bucăților metalice neferoase din amestecul de formare dezbătut se bazează pe capacitatea bucăților neferoase și a nisipului (efectul Corona) de a se încălca cu sarcină electrică negativă. La trecerea printr-un câmp electrostatic pozitiv, bucățile metalice, fiind mai bune conducătoare de electricitate, se neutralizează mai repede decât nisipul, putându-se astfel separa din amestecul de formare și, respectiv, de acesta. Pentru asigurarea separării complete a particulelor metalice neferoase din amestec, instalațiile de acest tip au, de obicei, trei asemenea treceri montate în cascadă.

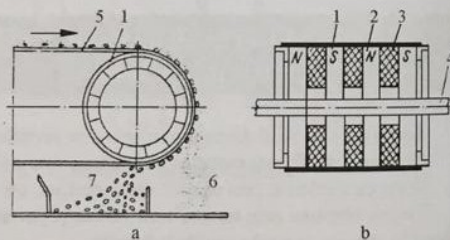


Fig. 1.3. Separator magnetic.

## Noțiuni generale de turnătorie

## 1.5.3. Dispozitive de cernere

Materialul obținut după sfărâmarea bulgărilor în instalațiile numite concasoare este transportat la instalația de cernere sau ciuruire.

Cernerea se execută pe diferite tipuri de site și constă în trecerea granulelor printr-un număr mare de găuri de dimensiune precisă, de obicei cu un diametru de 8–10 mm. În turnătorie se folosesc două tipuri de site: *plane* și *tambur*.

Pentru ca o granulă sferică, ideală, să treacă prin ochiul sitei, aceasta trebuie să ajungă să treacă dincolo de marginea ochiului, pe o dimensiune egală cu jumătate din diametrul său. Randamentul instalațiilor de cernere este de 50% la sita plană, iar la cele tambur este de 60–75%.

Sitele rotative constau dintr-un tambur cilindric sau conic, cu suprafața exterioară din tablă găurită, și se rotesc în jurul axei lor de simetrie, care poate fi orizontală sau înclinată (5–10°).

Sitele conice sunt cel mai mult utilizate și sunt executate sub formă poligonală (Fig. 1.4).

Amestecul este introdus în instalație prin pâlnia de alimentare (1). Materialul cernut, utilizabil, este colectat în siloz (2), iar refuzul sitei (4) este îndepărtat în jgheab (3), la silozul destinat colectării amestecului refuz, care este dirijat fie la haldă, fie spre instalația de regenerare.

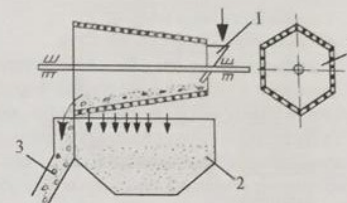


Fig. 1.4. Dispozitiv de cernere.

## 1.5.4. Mașini de formare (presare)

Mașinile pentru formare se clasifică astfel:

- după modul de acționare, pot fi: cu acționare pneumatică (sunt cele mai răspândite), hidraulică, mecanică, electromagnetică;
- după modul de extragere a modelului, pot fi: cu ridicarea ramei sau a modelului, cu coborârea modelului, cu rotirea sau rabatarea mesei;
- după modul de îndesare a amestecului, există mașini pentru formare prin: presare, scuturare, aruncare, suflare, împușcare.

Cele mai utilizate sunt mașinile cu îndesare prin presare și prin scuturare.

Mașinile pentru formare prin presare pot fi cu: sabot, membrană, cu pistoane, cu ajutaje și cu pârgăhii.

## Mașini pentru formare prin presare cu sabot

În figura 1.5 a este redată schema tehnologică a unei mașini de îndesat prin presare de sus, cu acționare pneumatică.

Masa (1) este solidară cu pistonul (2) care se deplasează într-un cilindru. Pe masă (1) se fixează placa-model (3). Pe placa-model este centrată rama (4) de înălțime  $H$  și rama suplimentară (5), de înălțime  $h$ ; în partea superioară se găsește sabotul fix (6), centrat în raport cu ramele. După umplerea ramelor cu amestec, ansamblul compus din masa mașinii, placa-model și ramele cu amestec de formare efectuează o mișcare de împingere împotriva sabotului fix, care execută îndesarea prin presare de sus în jos. Înălțimea ramei de îndesare, fața inferioară a sabotului trebuie să ajungă la nivelul superior al ramei (4). În consecință, înălțimea sabotului va fi egală cu  $h$ .

Gradul de îndesare variază pe înălțimea ramei  $H$ , fiind mai mare în partea superioară a formei, în zona contactului cu sabotul, și mai mic în partea inferioară a formei, în zona modelului (Fig. 1.5 b). Gradul de îndesare variază și într-o secțiune perpendiculară pe direcția de presare, fiind mai mare în zona centrală a formei și mai mic lângă pereții laterali și la colțuri.

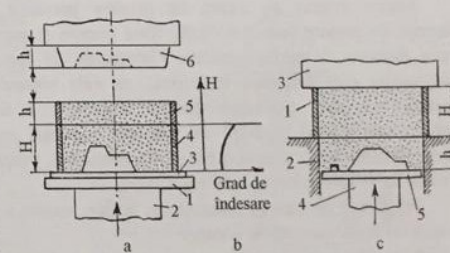


Fig. 1.5. Îndesarea amestecului prin presare.

Pentru îmbunătățirea uniformității îndesării se folosesc diferite soluții, precum:

- îndesarea cu sabot profilat;
- fixarea plăcii-model pe sabot;
- umplerea incompletă a ramei suplimentare (în zona modelului).

În cazul îndesării cu sabot profilat (reprezentat punctat), profilul sabotului se alege în funcție de configurația modelului; în părțile mai înalte ale modelului, sabotul este prevăzut cu o degajare.

În figura 1.5 c este reprezentată schema tehnologică a unei mașini de format cu presare de jos în sus, la care placa-model este fixată pe sabot. Rama (1) este strânsă între masa mașinii (2) și tampon (3). Pe sabot (4), solidar cu pistonul mașinii, este fixată placa-model (5). Presarea se face la cursa de ridicare a sabotului, spațiul de înălțime îndeplinind funcția de ramă suplimentară.

Semiforma se obține cu suprafața de separare în jos. La presarea cu placa-model fixată pe sabot este rezolvată în același timp și extragerea modelului din semiformă.

Îmbunătățirea uniformității se obține utilizând instalații speciale cu vibropresare, presare cu membrană, presare la presiune specifică foarte mare.

Instalația cu vibropresare asigură presarea concomitent cu vibrarea plăcii-model, cu ajutorul unui vibrator special.

### Mașini pentru formare cu membrană

Instalația de presare cu membrană (Fig. 1.6) asigură presarea cu ajutorul unei membrane elastice de cauciuc. Deasupra ramei (1), fixată pe placa-model (2) și umplută cu amestec, se așază capul de presare (3), închis la partea inferioară cu membrana de cauciuc (4).

Aerul comprimat, introdus deasupra membranei, produce mularea membranei după configurația modelului. Aerul comprimat apasă normal pe suprafața membranei și realizează îndesarea în mod uniform, în toate direcțiile.

Instalația cu îndesare la presiune specifică mare lucrează la presiune de ca 100-200 daN/cm<sup>2</sup>.

Formele se execută din amestecuri de formare cu o fluiditate ridicată, care conțin bentonită și smoală și care, prin îndesare, dau o rezistență mare la compresiune.

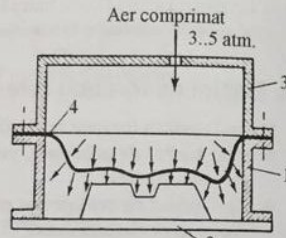


Fig. 1.6. Îndesarea amestecului prin presare cu membrană.

### Mașini pentru formare cu pistoane

Aceste mașini au capul de presare prevăzut cu pistonase de presare (sabot divizat), fiind numite și *mașini pentru formare cu multiplonjoare*. Pistonașele de presare (plonjoarele) sunt acționate individual, pe cale hidraulică cu aceeași presiune, și urmăresc profilul modelului. În felul acesta, uniformitatea gradului de îndesare este mai mare față de presarea cu un singur sabot și, de asemenea, permite folosirea lor la formarea pieselor mari.

Din punct de vedere constructiv, aceste mașini s-au construit în două variante, și anume:

- cu cap motor multiplonjoar, în care ansamblul placă-model-ramă rămâne fix (Fig. 1.7. I a), în timp ce pistonasele coboară în ramă (Fig. 1.7., II a);
- cu cap rezistent multiplonjoar (Fig. 1.7. I b), în care masa mașinii cu placa-model și rama de formare se deplasează spre pistonase, care, în funcție de rezistența întâmpinată, se mișcă pe o distanță mai mică sau mai mare (Fig. 1.7., II b).

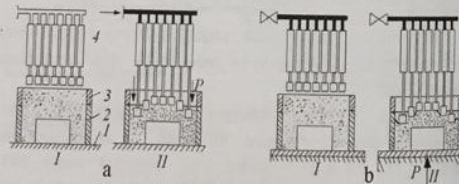


Fig. 1.7. Mașini pentru formare prin presare cu pistoane: I - înainte de presare; II - în cursul presării; 1 - placă-model; 2 - ramă de formare; 3 - ramă suplimentară; 4 - cilindru hidraulic.

### 1.5.5. Uscătoare

Uscătoarele sunt instalații folosite la uscarea formelor și a miezurilor.

Cele mai utilizate tipuri de uscătoare sunt:

- Uscătoarele de tip cameră cu acțiune periodică.

Acestea sunt folosite, de obicei, în turnătorii de serie mică.

Uscătorul (Fig. 1.8) are forma unei camere zidite cu cărămidă refractară. Formele sau miezurile (4) sunt așezate pe o vatră mobilă. Încălzirea se face cu ajutorul a două focare (1). Produsele de ardere din focar ajung în spațiul de lucru trecând prin două canale dispuse în lungul pereților longitudinali și prin orificii (2), se ridică spre boltă prin spațiile libere dintre forme sau miezuri, apoi, răcite, trec în canalul de evacuare a gazelor (3).

- Uscătoarele de tip cameră cu acțiune continuă.

Funcționează mai economic, în comparație cu uscătoarele cu acțiune periodică. Ele sunt folosite în turnătoriile cu producție de serie mare și de masă, pentru uscarea miezurilor sau a formelor, și pot fi verticale sau orizontale. În figura 1.9, este reprezentat un uscător vertical cu acțiune continuă, care se folosește pentru uscarea miezurilor.

Uscătorul, cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară, este prevăzut, la partea superioară, cu două roți (1), care antrenează două lanțuri fără sfârșit (2). Pe lanțuri sunt fixate etajerele (3), pe care se așază, prin fereastră (4), miezurile pentru uscare.

Uscătorul este împărțit în două canale de un perete vertical (5). Uscarea se realizează în canalul din dreapta, când, prin ridicare, miezurile ajung în zona temperaturilor înalte. La coborâre, prin canalul din stânga, miezurile se răcesc și apoi sunt descărcate prin fereastră (6).

Uscătorul se încălzește cu combustibil lichid sau gazos, care arde în focarul (7) amplasat deasupra focarelor de încărcare și descărcare. În drumul lor ascendent, gazele usucă miezurile. La coborâre, o parte dintre gaze este aspirată de coșul de fum (8), iar cealaltă parte este aspirată de ventilator (9) și introdusă în focar, în vederea unei mai bune folosiri a căldurii. Înălțimea unui astfel de uscător este de 14-15 m, iar productivitatea sa este de 1-1,5 t miezuri pe oră, la o durată de uscare de 3-4 ore.

- Uscătoare transportabile.

Formele de dimensiuni foarte mari, executate în rame sau în sol, se usucă cu ajutorul unor instalații transportabile (Fig. 1.10), care se amplasează deasupra locului ce trebuie întărit. Uscătorul este așezat pe rama superioară (5). Gazele calde produse de arzător (2) în focar (1) pătrund în cameră (3), unde se amestecă cu aerul rece debitat de ventilator (4).

Din camera de amestecare, gazele calde pătrund prin canalele de aerisire (6) în cavitatea formei, usucă suprafața interioară a formei și apoi sunt evacuate prin alte canale de aerisire în exterior. Uscătoarele de acest tip sunt transportate de la o formă la alta cu ajutorul unui pod rulant.

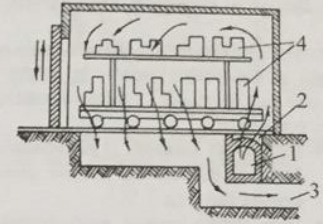


Fig. 1.8. Uscător de tip cameră cu acțiune periodică.

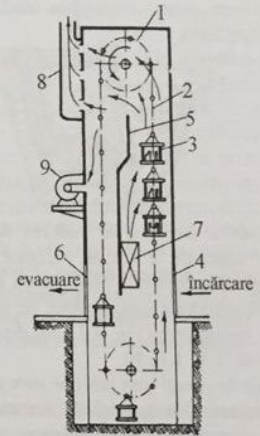


Fig. 1.9. Uscător vertical cu acțiune continuă.

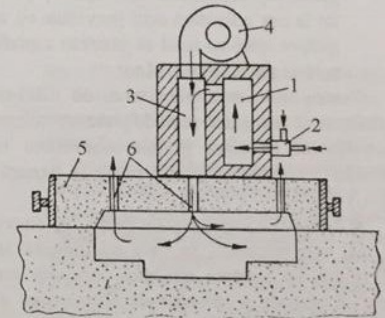


Fig. 1.10. Uscător transportabil.

### 1.5.6. Scule și dispozitive folosite la executarea formelor și a miezurilor

În orice turnătorie se întâlnesc scule și dispozitive cu forme și dimensiuni variate, în funcție de operația pentru care sunt destinate. La formarea manuală, cele mai utilizate **scule** sunt:

- **bătătoarele manuale și pneumatice**, de diferite forme și dimensiuni, folosite pentru îndesarea amestecului (Fig. 1.11.);
- **troile, lanțete, croșete, esuri, netezitoare** folosite pentru netezirea și înlăturarea defectelor formelor (Fig. 1.12);
- **ciocane din oțel, lemn, cauciuc și cârlige** utilizate pentru extragerea modelului din formă (demulare).

**Dispozitivele** utilizate pentru realizarea formelor sunt următoarele:

- plăcile portramă;
- plăcile-model;
- ramele de formare;
- dispozitivele de ghidare și de asigurare.

• **Plăcile portramă** sunt dispozitive pe care se așază modelul și rama, în vederea obținerii planului de separație la formă. Acestea trebuie să aibă suprafața perfect plană, pentru a obține un plan de separație corespunzător. Se execută din lemn de esență tare (Fig. 1.13 a), din aluminiu și din fontă (Fig. 1.13 b).

• **Plăcile-model** sunt plăci pe care se așază modelul liber sau fixat în șuruburi. Acestea sunt prevăzute cu elemente de ghidare pentru rame. Se execută rar din lemn, cele mai utilizate materiale fiind cele turnate din aluminiu. Plăcile-model prezintă la partea superioară (activă) o suprafață perfect plană, iar la cea inferioară sunt prevăzute cu nervuri de întărire, care au rolul să păstreze suprafața activă perfect plană (Fig. 1.14 a).

Pentru reducerea numărului de plăci-model, în cazul formării unei game mari de piese, se utilizează **plăci în coordonate**. Acestea permit schimbarea modelului folosindu-se rețeaua de găuri în care se fixează modelul (Fig. 1.14 b).

• **Ramele de formare** sunt cadre din lemn (utilizate mai rar) sau metalice, în care se îndeasă amestecul de formare, în vederea obținerii formelor temporare. Marea diversitate a ramelor de formare se datorează configurației și dimensiunilor foarte diferite ale pieselor turnate.

Ramele de formare se clasifică astfel:

- după **natura materialului din care sunt confecționate**, în: rame din lemn, din aliaje ușoare, din fontă și din oțel;

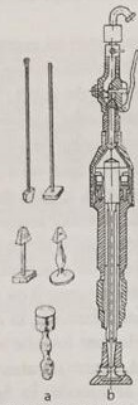


Fig. 1.11. Bătătoare pentru îndesarea formelor: a - bătătoare manuale; b - bătător pneumatic.

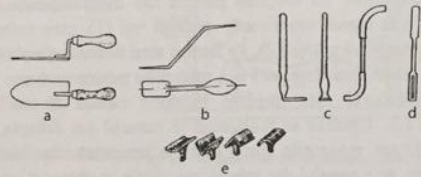


Fig. 1.12. Scule pentru repararea formelor: a - troile; b - lanțete; c - croșete; d - esuri; e - netezitoare.

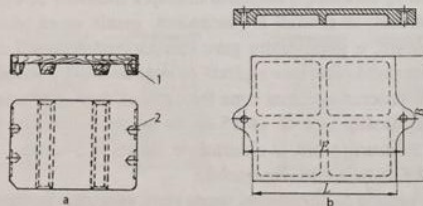


Fig. 1.13. Placă portramă: a - placă de lemn; b - placă metalică: 1 - întăritură de metal; 2 - găuri de manevrare.

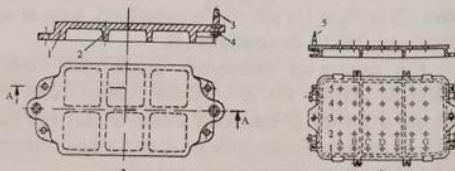


Figura 1.14. Tipuri de plăci-model: a - placă metalică; b - placă în coordonate; 1 - placă; 2 - nervuri; 3 - știft de ghidare; 4 - piuliță; 5 - cep de ghidare.

- după **felul construcției**, în: rame turnate, sudate, presate și laminate;
- după **forma secțiunii**, în: dreptunghiulare, pătrate, circulare și cu forme speciale (Fig. 1.15, a, b, c);
- după **volumul interior**, în: rame mici, medii, mari și foarte mari.

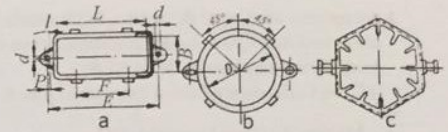


Fig. 1.15. Tipuri de rame: a - ramă dreptunghiulară; b - ramă circulară; c - ramă specială.

### 1.5.7. Mașini de turnare

#### □ Mașina de turnat sub presiune cu cameră caldă

O variantă constructivă de mașină cu cameră caldă este cea a mașinii cu piston orizontal, prezentată în figura 1.16.

Aceasta este utilizată în cazul pieselor de dimensiuni mari, deoarece permite injectarea unor volume mari de material, datorită cursei mai mari a pistonului orizontal față de cel vertical.

#### □ Mașina de turnat prin aspirație (Fig. 1.17)

Etapele procesului tehnologic de turnare prin aspirație sunt următoarele:

▶ pregătirea cristalizatorului în vederea turnării, curățarea suprafețelor interioare, curățarea ciocului, montarea miezului și asamblarea formei de turnare, verificarea circuitelor de vid și de răcire, verificarea instalației de manevrare;

▶ imersarea vârfului (ciocului) cristalizatorului (2) în aliajul lichid (1) din creuzetul (10) cuptorului de menținere (A);

▶ crearea depresiunii cu ajutorul instalației de vidare (C) și aspirarea aliajului din creuzet în cristalizator;

▶ solidificarea piesei (4) sub depresiune, fapt ce conduce la o degazare foarte bună a aliajului topit și, implicit, la o diminuare a mărimii și a densității suflurilor, precum și a sitei în masa piesei turnate;

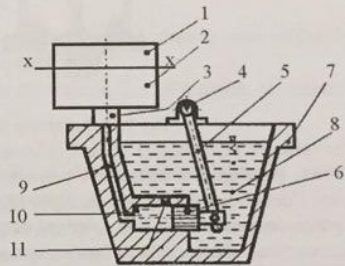


Fig. 1.16. Mașină de turnat cu cameră caldă cu piston orizontal: 1 - semimatriță mobilă; 2 - semimatriță fixă; 3 - duza de alimentare; 4 - motorul de acționare; 5 - mecanismul de acționare; 6 - pistonul; 7 - cuptorul de menținere; 8 - aliajul de topit; 9 - canalul de alimentare; 10 - camera de compresie; 11 - duza de admisie a aliajului topit; x-x - planul de separație.

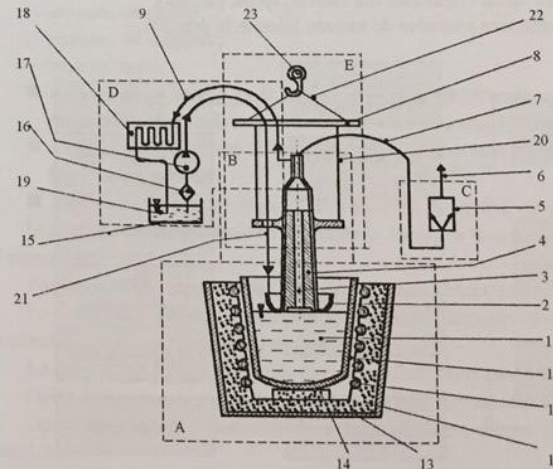


Fig. 1.17. Schema de principiu a unei instalații de turnat prin aspirație: A - cuptorul de menținere; B - forma de turnare; C - instalația de vidare; D - instalația de răcire a cristalizatorului; E - instalația de manevrare a cristalizatorului; 1 - aliajul lichid; 2 - cristalizator; 3 - miez; 4 - piesă; 5 - pompă de vid; 6 - coș de evacuare a gazelor; 7 - racord flexibil; 8 - traversă mobilă; 9 - racorduri flexibile; 10 - cuzinet; 11 - rezistențe electrice; 12 - izolație; 13 - manta; 14 - suportul creuzetului; 15 - rezervor; 16 - filtru; 17 - pompă de recirculare; 18 - rezistență electrică; 19 - termostat; 20 - radiator; 21 - agent de răcire; 22 - cadru de susținere; 23 - cârlig de ridicare.

- ▶ decuplarea instalației de vidare, în momentul atingerii unei grosimi satisfăcătoare de perete, fapt deosebit de important mai ales la turnarea pieselor cave cu miez tip diafragmă, pentru a permite scurgerea în creuzetul de menținere a surplusului de topitură;
- ▶ ridicarea cristalizatorului și extragerea piesei turnate.

#### □ Mașina de turnat centrifugală

Pentru turnarea centrifugală cu axă verticală, se folosește instalația din figura 1.18 a, care este alcătuită din platou (1) pe care se montează cochila (2) închisă de capac (3), care servește la limitarea ridicării metalului în formă.

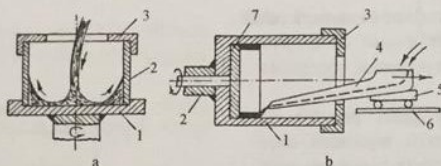


Fig. 1.18. Schemele instalațiilor pentru turnarea centrifugală.

Pentru turnarea centrifugală cu axă orizontală se folosesc instalații la care cochila se află în consolă sau este sprijinită pe role. Instalația din figura 1.18 b are cochila (1) montată în consolă, pe un ax (2) pus în mișcare de rotație de către un motor. Cochila este închisă de un capac (3), prin care este introdusă pâlnia de turnare (4), montată pe un cărucior (5) care se poate deplasa pe șine (6). Deplasarea pâlniei în momentul turnării asigură obținerea unui strat uniform de metal. Scoaterea piesei din cochilă se face cu ajutorul plăcii extractoare (7).

## 1.5. TURNAREA MANUALĂ

În practică se folosesc numeroase procedee de turnare care se diferențiază prin tehnologia de execuție a formelor, prin natura materialului formei, prin modalitatea de introducere a metalului topit în cavitatea formei etc.

În funcție de numărul de piese turnate în aceeași formă, **procedecele de turnare** pot fi:

- în forme temporare, care se distrug la scoaterea piesei, deci sunt folosite la o singură turnare;
- în forme permanente, prin care sunt realizate zeci sau chiar sute de mii de piese, fără a necesita reparații intermediare;
- în forme semipermanente, folosite la câteva turnări (realizate din ciment, ipsos, șamotă).

În figura 1.19. sunt precizate cele mai reprezentative procedee de turnare folosite în practică.

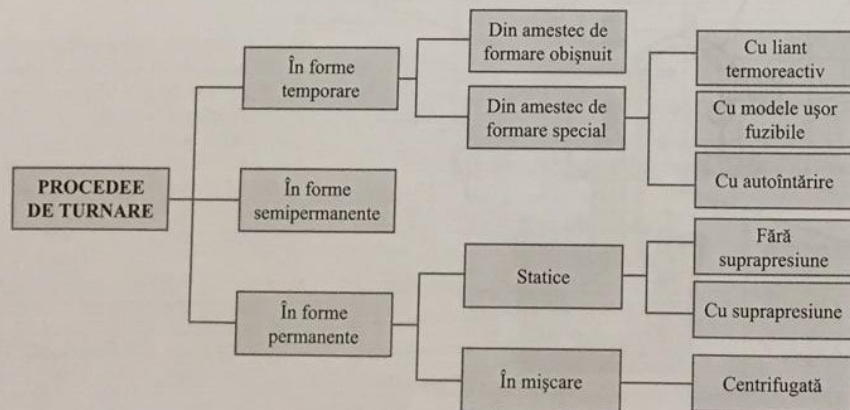


Figura 1.19. Procedee de turnare.

## Turnarea în forme temporare

### Materiale și amestecuri de formare

Formele temporare se realizează din:

- amestecuri de formare obișnuite – nisip și argilă;
- amestecuri de formare speciale – nisip și lianți speciali.

Prin **amestec de formare** se înțelege materialul natural sau sintetic compus din nisip, liant și materiale auxiliare.

**Materialele de formare** se clasifică în:

- materiale principale, cum sunt nisipurile și lianții;
- materiale auxiliare, care servesc ca adaosuri pentru îmbunătățirea proprietăților amestecului de formare sau pentru finisarea formelor și a miezurilor.

Nisipurile sunt produse provenite din descompunerea rocilor metamorfice sau eruptive, care au drept constituent de bază silicea (Si O<sub>2</sub>). Silicea se prezintă sub formă de granule dure, refractare.

Distingem două tipuri de nisipuri: nisipuri brute de carieră, cu conținut de 2 – 50% argilă, și nisipuri spălate, cu conținut de 0,02 – 2 % argilă.

Lianții se clasifică în: lianți organici și lianți anorganici.

În categoria **lianților organici** intră: uleiurile vegetale de in, cânepă, floarea-soarelui, uleiurile minerale, rășinile sintetice etc. Lianții organici asigură formelor o rezistență mai ridicată decât cei anorganici.

Având un preț mai ridicat decât al lianților anorganici, lianții organici se folosesc numai pentru executarea miezurilor și la unele categorii de forme-coji.

În categoria **lianților anorganici** intră: argila, bentonita, cimentul, ghipsul, silicatul de sodiu.

Argila și bentonita absorb apa, se umflă, se plastifiază și își exercită rolul de lianți; se utilizează la executarea formelor și a miezurilor.

Cimentul, ghipsul și silicatul de sodiu își exercită rolul de lianți numai în contact cu apa.

### Amestecuri de formare

Clasificarea amestecurilor de formare se face după următoarele criterii:

- după natura aliajului turnat: amestecuri pentru fonte, amestecuri pentru oțeluri și amestecuri pentru aliaje neferoase.
- după destinație: amestecuri pentru forme și amestecuri pentru miezuri.

Amestecurile pentru forme se clasifică în:

- amestec de model;
- amestec de umplere;
- amestec unic.

■ Amestecul de model se folosește la executarea stratului care vine în contact cu modelul. El trebuie să aibă proprietățile bune, deoarece la turnare vine în contact direct cu aliajul topit.

■ Amestecul de umplere se folosește pentru completarea formei după îndesarea amestecului de model, rolul lui fiind de consolidare.

■ Amestecul unic este utilizat atât ca amestec de model, cât și ca amestec de umplere.

În general, amestecul unic se folosește la formarea mecanizată, iar amestecul de model și amestecul de umplere la formarea manuală.

Prepararea amestecurilor de formare se face în instalații speciale.

La prepararea amestecurilor destinate executării formelor se introduce și o parte din amestecul folosit la turnările precedente, care a fost în prealabil recondiționat.

La prepararea amestecurilor de miez nu se introduce amestec folosit anterior.

Operațiile necesare preparării amestecurilor de formare sunt indicate în figura 1.20.

Operațiile necesare obținerii de piese turnate în forme din amestec de formare obișnuit sunt indicate în figura 1.21.

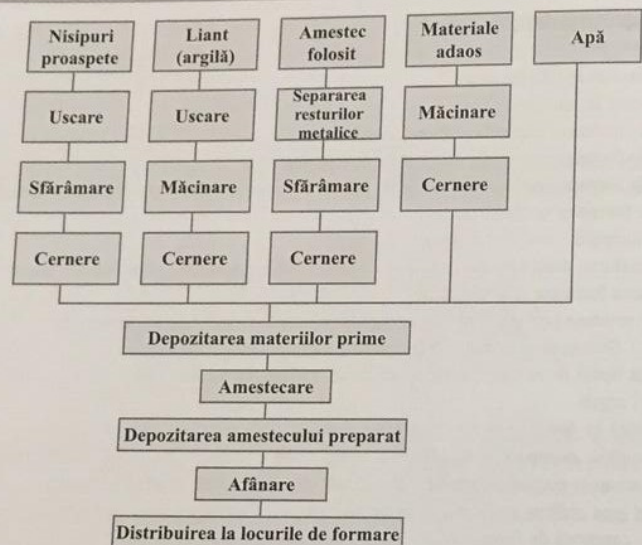


Fig. 1.20. Schema procesului tehnologic de preparare a amestecurilor de formare.

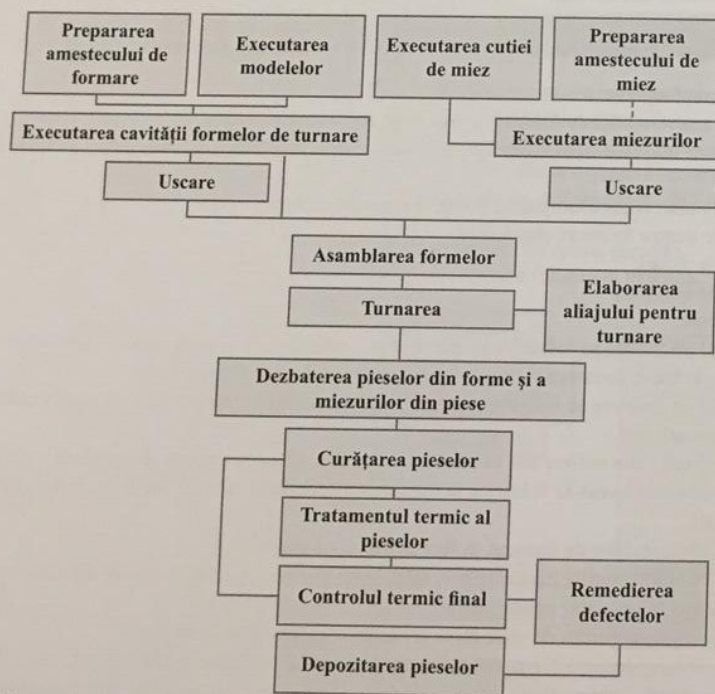


Fig. 1.21. Schema procesului tehnologic de turnare a pieselor în forme de amestec de formare obișnuit.

**Tehnologia de realizare a garniturilor de model**

Pentru turnarea pieselor cu configurație simplă sunt necesare modele, iar pentru turnarea pieselor cu configurație complexă, se construiesc garnituri de model alcătuite din: modelul propriu-zis, cutii de miez, modelul rețelei de turnare.

Modelele se pot executa dintr-una sau din mai multe bucăți. Separarea unui model în mai multe bucăți se face după suprafețe numite *planuri de separație* (vezi Fig. 1.1).

Golurile interioare ale piesei se obțin cu ajutorul miezurilor executate în cutii de miez. Pentru a avea o anumită poziție în cavitatea formei, miezurile se așază în locașuri speciale denumite *mărți*, obținute prin intermediul unor proeminențe de pe conturul exterior al modelului (Fig. 1.22).

La proiectarea modelelor și a cutiilor de miez, se stabilesc următoarele:

- metoda de formare;
- poziția de turnare;
- planurile de separație;
- înclinările și racordările constructive;
- adaosurile de prelucrare;
- adaosurile tehnologice;
- adaosurile de contracție;
- dimensiunile mărcilor.

În funcție de producția necesară, *formarea* se poate executa manual sau mecanizat.

*Poziția de turnare* se stabilește în funcție de configurația și de complexitatea piesei care se toarnă.

Când se aleg *planurile de separație*, trebuie să se respecte următoarele condiții:

- planurile de separație trebuie să fie orizontale sau verticale și să permită extragerea modelului din formă fără distrugerea acesteia;
- forma trebuie să conțină cât mai puține miezuri;
- piesele mici și cu configurație simplă să fie turnate într-o singură semiformă.

*Înclinările constructive* sunt pantele pereților verticali ai pieselor turnate (Fig. 1.23). Unghiul de înclinare poate fi de 1-10 %, dar mai mare la modelele mici.

Aceste înclinări sunt necesare pentru a ușura scoaterea modelului din formă sau a miezurilor din cutia de miez.

*Racordările constructive* sunt rotunjirile unghiurilor interioare între doi pereți ai piesei turnate, executate în scopul prevenirii defectelor de turnare și al ușurării executării formei. Racordările se indică pe desenul piesei turnate prin litera „R”, urmată de valoarea numerică a razei (Fig. 1.23).

*Adaosul de prelucrare* (notat cu *a* în figura 1.23) este surplusul de material prevăzut pe suprafețele care urmează a se prelucra prin așchiere.

Mărirea adaosurilor de prelucrare se stabilește în funcție de:

- calitatea materialului din care se toarnă piesa;
  - dimensiunile și complexitatea piesei;
  - clasa de precizie a piesei;
  - metoda de formare și poziția suprafeței prelucrate în timpul turnării (în partea de jos a formei, lateral sau sus).
- Valorile adaosurilor de prelucrare sunt standardizate.

*Adaosul tehnologic* reprezintă surplusul de material prevăzut pe anumite suprafețe ale pieselor turnate și servește la fixarea piesei în vederea prelucrărilor prin așchiere, precum și ca adaos la turnarea găurilor și a nervurilor care previn fisurarea piesei.

*Adaosul de contracție* reprezintă un surplus dimensional prevăzut la model, cu rolul de a compensa dimensional construcția care survine la solidificarea metalului în forma de turnare.

În funcție de materialul care se toarnă, modelele și cutiile de miez pot fi destinate turnării pieselor din fontă, oțel sau din aliaje neferoase.

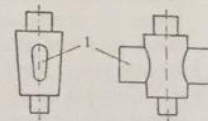


Fig. 1.22. Modelul unui corp de robinet cu mărți (1).

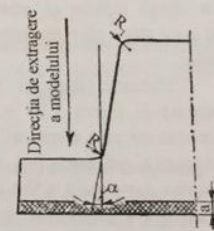


Fig. 1.23. Stabilirea înclinărilor.

## Tehnologia de realizare a garniturilor de model din lemn

Procesul tehnologic cuprinde o serie de operații care trebuie parcurse în următoarea ordine:

- ▶ se întocmește lista cu materialul lemnos necesar, pe calitate și dimensiuni;
- ▶ se efectuează prelucrarea mecanică a materialului lemnos la dimensiunile necesare (tăierea, rindeluirea, strunjirea, găurirea);
- ▶ se confecționează semifabricatele pentru model;
- ▶ se prelucreează semifabricatele și se assemblează în vederea obținerii elementelor garniturii de model;
- ▶ se controlează garnitura de model;
- ▶ se finisează și se vopsește garnitura de model;
- ▶ se inscripționează (marchează) garnitura de model și se efectuează controlul final.

## Prelucrarea mecanică a materialului lemnos

Presupune următoarele operații:

**Tăierea.** Se execută, de regulă, cu fierăstrăul cu panglică (Fig. 1.24 a), care are o mișcare rectilinie continuă.

Principiul de bază al tăierii lemnului cu pânza de fierăstrău constă în pătrunderea dinților metalici în lemn și în detașarea așchii de pe fundul și pereții tăieturii. De aceea, dinții trebuie să aibă o înclinație alternantă de o parte și de alta a planului pânzei, înclinație care se numește *ceapraz*.

Geometria danturii pânelor de fierăstrău este prezentată în figura 1.24 b. Zona tăietoare a pânzei se caracterizează prin următorii parametri: parametri liniari, adică pasul  $p$ , înălțimea  $h$  și suprafața  $Ag$  a golului dinților; parametri unghiulari, adică unghiul de așezare  $\alpha$ , unghiul de degajare  $\gamma$  și unghiul de tăiere  $\delta$  ( $\delta = \alpha + \beta$ ).

**Rindeluirea.** Este operația de îndepărtare a unor straturi succesive sub formă de așchii subțiri (talaș), de pe suprafețele materialului lemnos, în vederea realizării unor suprafețe plane sau concave, cu raze mari de curbură.

Rindeluirea se poate realiza manual, cu rindele clasice de diferite forme (Fig. 1.25), sau mecanizat, cu mașini de rindeluit. Turația arborelui portcuțit la mașinile de rindeluit este de 5.000–6.000 rot./min.

Elementele geometrice și constructive ale cuțitelor de rindeluit sunt date în figura 1.26.

Grosimea  $g$  a cuțitelor este de 3–6 mm.

La cuțitul montat în rindea sau pe arborele portcuțit al mașinilor se formează următoarele unghiuri: unghiul de așezare  $\alpha$ , unghiul de ascuțire  $\beta$  și unghiul de degajare  $\gamma$  (Fig. 1.26).

Valoarea acestor unghiuri se recomandă a fi următoarele:

$$A = 15-20^\circ; \beta = 30-35^\circ; \\ \gamma = 30-35^\circ; \delta = \alpha + \beta = 45-55^\circ$$

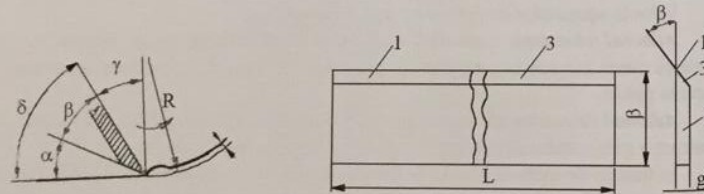


Figura 1.26. Geometria cuțitelor de rindeluit: 1 – tăișul; 2 – corpul cuțitului; 3 – fața cuțitului.

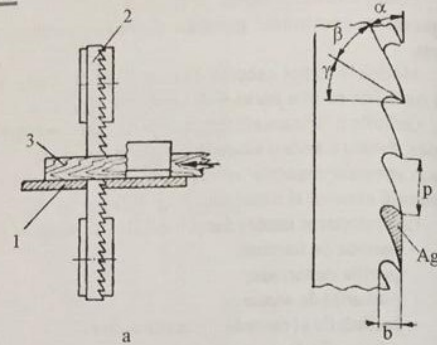


Fig. 1.24. Tăierea lemnului cu fierăstrăul cu panglică: a – schema procedurii de tăiere; 1 – masă rabatabilă; 2 – panglică de fierăstrău; 3 – material lemnos. b – geometria danturii panglicii fierăstrăului.

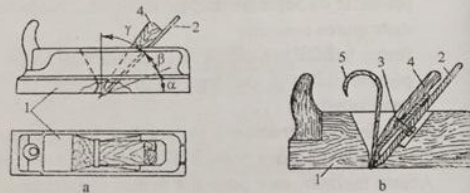


Fig. 1.25. Scule pentru rindeluire: a – rindea manuală simplă; b – rindea dublă: 1 – corpul rindelei; 2 – cuțit; 3 – dublură cuțit; 4 – pană; 5 – șpan.

**Strunjirea.** Este operația de prelucrare prin așchiere a semifabricatelor din lemn având forma corpurilor de revoluție, cu generatoarea dreaptă sau profilată. În funcție de modul de fixare și manevrare a cuțitului, strunjirea lemnului poate fi efectuată *manual* sau *mecanic*. La strunjirea manuală, cuțitul este de forma unei dălți cu mânerul lung până sub brațul drept al lucrătorului; cuțitul se sprijină pe suportul strungului, astfel încât tăișul să se afle deasupra axului de rotație al piesei (Fig. 1.27).

Cuțitele pentru strunjirea manuală sunt de diferite forme: cuțitele pentru degroșare și pentru execuția razelor au formă semirotundă, iar cuțitele pentru finisare au formă plată, cu unghiul de ascuțire  $\beta$  cuprins între 20 și 35°. Unghiul de așezare  $\alpha$  este de 12–15°. Eforturi minime de așchiere și o calitate superioară a suprafeței se obțin când unghiul  $\varphi$  dintre muchia tăietoare și direcția fibrelor este cuprins între 45 și 60°.

Cuțitele pentru strunjirea mecanică se fixează rigid în suportul portcuțit al păpușii mobile. Strunjirea se efectuează cu avans mecanic longitudinal și transversal.

Cuțitele pentru strunjirea mecanică se compun din două părți (Fig. 1.28): *partea activă*, prevăzută cu tăișuri rezultate din intersecția fețelor de degajare și de așezare, și *partea de prindere* (corpul cuțitului).

**Găurirea.** Este operația de prelucrare prin așchiere, care se efectuează cu scopul de a se obține cavități cilindrice în corpul piesei. Găurirea se caracterizează prin două mișcări simultane: *mișcarea de rotație a sculei* și *mișcarea de avans* după direcția axului sculei, pe care o face fie scula, fie piesa. Un punct oarecare  $S$  de pe muchia tăietoare a sculei descrie în timpul celor două mișcări simultane o curbă elicoidală, reprezentată în figura 1.29 cu o linie întreruptă.

Scula tăietoare se numește *burghiu*. Cea mai răspândită formă constructivă a burghiului este cea cu canale elicoidale, denumit *burghiu elicoidal*. Parametrii unghiulari ai burghiului sunt: unghiul de așezare  $\alpha$ , unghiul de ascuțire a muchiei tăietoare  $\beta$ , unghiul de degajare  $\gamma$  și unghiul format între cele două muchii tăietoare la vârful burghiului, denumit unghiul de vârf și notat cu  $2\gamma$ . Valorile optime ale principalelor unghiuri sunt:  $\alpha = 12-15^\circ$ ;  $2\gamma = 90-110^\circ$ .

Pentru a mări gradul de precizie a poziției de așezare a burghiilor în centrul găurilor respective, unele burghie elicoidale sunt prevăzute cu vârf de centrare. Găurirea lemnului se realizează fie manual, cu coarbe de tâmplărie, fie mecanizat, cu mașini de găurit obișnuite.

Mașinile utilizate pentru prelucrarea lemnului au o viteză mare de tăiere: 15–20 m/s la cele de strunjit și 50–60 m/s la fierăstraie cu panglică. Din acest motiv, se impune aplicarea cu strictețe a normelor de securitate a muncii: toate aceste mașini și dispozitive trebuie să fie îngrădite; la fiecare mașină trebuie asigurate condițiile de ventilație necesare îndepărtării prafului și a așchiilor.

Operația de *îmbinare*. Se impune ori de câte ori semifabricatele lemnoase nu se pot obține direct din cherestea și se realizează prin înclieire și prin metoda îmbinării mecanice. Cea mai economică grosime de scândură este de cca 45 mm, din care se pot obține scânduri prelucrate de circa 40 mm, aceasta fiind grosimea optimă

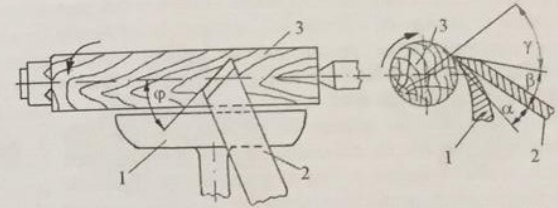


Fig. 1.27. Schema strunjirii manuale și geometria dălții de rindeluit manual: 1 – suportul dălții; 2 – daltă; 3 – piesa de strunjit.

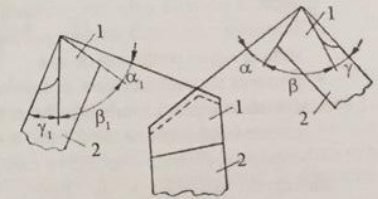


Fig. 1.28. Geometria cuțitului pentru strunjirea mecanică: 1 – capul cuțitului; 2 – corpul cuțitului.

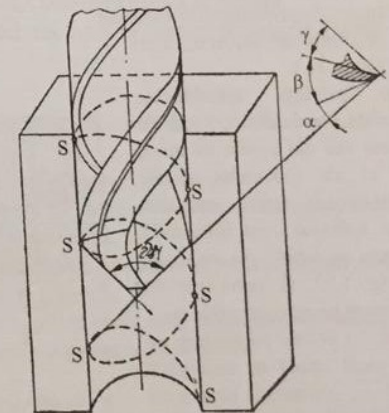


Fig. 1.29. Schema găuririi cu burghiul elicoidal.

pentru construcția garniturilor de model. Grosimile mai mari conduc la pierderi de material prin așchiere, iar grosimile mai mici necesită un consum mare de manoperă pentru realizarea unor semifabricate mai groase, prin încheierea scândurilor cu grosimi mici.

**Încheierea** este operația de îmbinare prin alipirea a două câte două fețe ale materialului lemnos prelucrat, după ce, în prealabil, acestea au fost acoperite cu câte o peliculă de clei sau adeziv pentru lemn, urmată de o presare mecanică realizată cu diverse dispozitive. Cel mai utilizat este adezivul pe bază de poliacetat de vinil, cunoscut sub denumirea comercială de *aracet*.

Operația de îmbinare a materialelor lemnoase cu aracet presupune:

- utilizarea aracetului la temperatura camerei;
- obținerea unei anumite viscozități a adezivului, care să permită aplicarea acestuia pe suprafața de îmbinare sub formă de film subțire; în acest scop, trebuie reglat conținutul de apă;
- presarea suprafețelor care se îmbină în decurs de maximum 10 min., în vederea preîntâmpinării pierderii apei din adeziv, prin absorbție în lemn sau prin evaporare; valoarea presiunii specifice aplicate asupra elementelor supuse îmbinării este de 4-6 daN/cm<sup>2</sup>; prin presare, adezivul pătrunde în porii lemnului. Presiunea de încheiere se poate realiza cu dispozitive prevăzute cu contragreutăți sau cu prese cu șuruburi.

Încheierea scândurilor se face în funcție de așezarea scândurilor, pe margine și prin suprapunerea fețelor.

Îmbinarea *meccanică* este o altă metodă utilizată pentru asamblarea diferitelor elemente ale garniturilor de model. Îmbinările mecanice sunt de două feluri: *îmbinări fixe* (nedemontabile) și *îmbinări demontabile*.

În funcție de poziția scândurilor, îmbinările fixe se clasifică în: îmbinări fixe pe lățime și în prelungirea scândurilor (Fig. 1.30.); îmbinări fixe în unghiuri și în T (Fig. 1.31.).

În privința asamblărilor demontabile ale detaliilor libere de pe modele sau din cutiile de miez, precum și ale modelelor și ale cutiilor de miez în plane de separație, cele mai utilizate sunt îmbinările în separație cu cepuri din lemn sau metal (Fig. 1.32. a), îmbinările cu știfturi pentru piese cu precizie mică (Fig. 1.32. b) și cele cu sisteme de locaș și pană coadă de rândunică (Fig. 1.32. c), utilizate la piesele cu precizie mare.

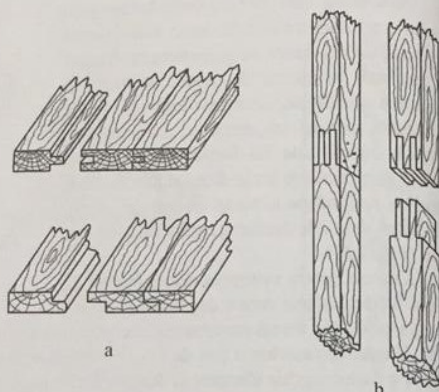


Fig. 1.30. Îmbinări fixe pe lățime (a) și în lungime (b).

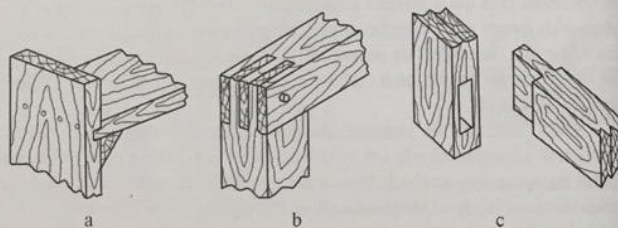


Fig. 1.31. Îmbinări fixe în unghi drept și în T: a - îmbinare fixă în T; b - îmbinare cu cepuri; c - îmbinare în lambă și uluc.

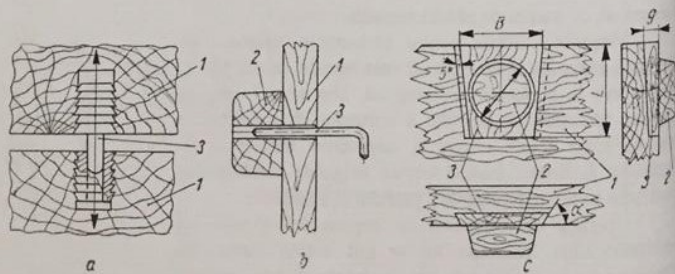


Fig. 1.32. Îmbinări demontabile la modele: a - cu cepuri în separația modelelor; b - cu cui (știft); c - cu locaș și pană coadă de rândunică; 1 - corpul modelului; 2 - element detașabil; 3 - sistemul de fixare (cep, cui, coadă de rândunică).

În construcția cutiilor de miez cu pereți demontabili, cele mai utilizate sisteme de îmbinare sunt cele cu scoabe din lemn cu pene coadă de rândunică (Fig. 1.33 a), cele cu pene din lemn sau metal (Fig. 1.33 b), utilizate la asamblarea cutiilor de miez cu precizie dimensională mijlocie și de serie mică, precum și îmbinările cu dispozitive metalice prevăzute cu șurub și piuliță-fluture (Fig. 1.33 c, d), utilizate în general la asamblarea cutiilor de miez cu precizie mare, de serie mijlocie și mare.

**Controlul garniturilor de model din material lemnos**

**Controlul constructiv** al garniturilor de model constă în verificarea:

- esenței materialului lemnos folosit la executarea garniturilor de model, în funcție de clasa de rezistență prescrisă;
- a tipurilor de îmbinări utilizate;
- a respectării condițiilor referitoare la planele de separație ale modelului și ale cutiilor de miez, precum și cu privire la direcția de îndesare a amestecului de miez în cutii.

**Controlul dimensional** al modelelor se realizează prin măsurări și trasaj și constă în:

- verificarea trasajului tehnologic efectuat înainte de începerea executării garniturilor de model;
- trasarea pe model și în cutiile de miez a tuturor axelor de simetrie;
- măsurarea distanțelor dintre axe și confruntarea acestora cu valorile din desen;
- măsurarea dimensiunilor gabaritice ale modelelor și ale cutiilor de miez, precum și confruntarea lor cu valorile din desen;
- măsurarea dimensiunilor mărcilor miezurilor și a jocului dintre mărcile modelului și a mărcilor cutiilor de miez;
- verificarea dimensională a tuturor șabloanelor pentru controlul închiderii forme de turnare.

Controlul constructiv și dimensional al garniturilor de model din lemn se execută înainte de vopsire și este cunoscut sub denumirea de „control în alb”.

**Finisarea și vopsirea garniturilor din material lemnos**

**Finisarea** constă în șlefuirea cu hârtie de șlefuit a tuturor suprafețelor garniturii de model care vor veni în contact cu amestecul de formare.

**Vopsirea** garniturilor de model presupune parcurgerea următoarelor operații tehnologice:

- ▶ grunduirea cu un strat subțire a tuturor suprafețelor active ale garniturii de model, operație care face ca porii lemnului să se descopere, iar eventualele firioare de fibră să se ridice;
- ▶ uscarea grundului și chitirea crăpăturilor, a nodurilor, a urmelor de cuie și șuruburi, precum și a zonelor rugoase, datorate fibrajului lemnului;
- ▶ uscarea chitului și șlefuirea cu hârtie de șlefuit urmate de vopsirea finală, care constă în aplicarea unuia sau a mai multor straturi de vopsea; după uscarea acestora, se trece la șlefuirea fiecărui strat.

**Marcarea garniturilor din material lemnos**

Modelele și cutiile de miez executate din lemn se marchează prin vopsire cu lac protector în culori diferite care fac posibilă identificarea materialului din care se toarnă piesa (Tabelul 1.1).

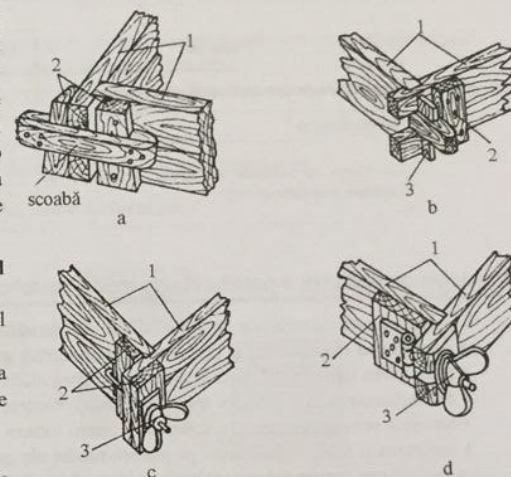


Fig. 1.33. Sisteme de lemn pentru îmbinarea demontabilă a cutiilor de miez: a - cu scoabe de lemn; b - cu pene din lemn; 1 - pereții cutiilor; 2 - întăritori; 3 - pene; c - cu șurub cu cap cârlig; d - cu șurub cu balama; 1 - pereții cutiei; 2 - întărituri; 3 - dispozitiv de strângere.

Tabelul 1.1. Culorile de marcare a modelelor și a cutiilor de miez

Destinația	Culoarea lacului		
	Piese din fontă	Piese din oțel	Piese din aliaje neferoase
Suprafețele exterioare ale modelului și ale cutiei de miez	Roșie	Albastră	Galbenă
Mărcile modelului	Neagră	Neagră	Neagră
Suprafețele de asamblare ale părților componente ale modelului și ale cutiei de miez	Verde	Verde	Verde

### Tehnologia de realizare a garniturilor de model metalice

Confecționarea garniturilor de model din aliaje metalice cuprinde următoarele faze tehnologice principale:

- ▶ conceperea constructivă și proiectarea elementelor garniturii de model;
- ▶ întocmirea tehnologiei de execuție a semifabricatelor turnate, forjate sau laminare;
- ▶ confecționarea eventualelor modele cu dublă contracție, pentru turnarea semifabricatelor;
- ▶ turnarea semifabricatelor în vederea obținerii tuturor elementelor componente ale garniturii de model;
- ▶ centrarea și fixarea modelelor pe plăcile-model ale mașinilor sau instalațiilor de formare.

La proiectarea elementelor garniturilor de model metalice se mai iau în considerare și următoarele aspecte:

- semifabricatele turnate sau forjate trebuie să aibă, pe cât posibil, o formă geometrică regulată, ca să se poată prelucra pe mașini-unelte;
- forma constructivă, îmbinările dintre pereți și, mai ales, amplasarea nervurilor de rigidizare trebuie alese astfel încât să se evite îmbinările de pereți și forme netehnologice.

Tehnologia de execuție a semifabricatelor turnate necesare realizării garniturilor de model metalice cuprind aceleași operații ca și tehnologia de turnare a oricărei piese turnate.

Garniturile de model cu dublă contracție se execută, de regulă, din lemn moale și de o calitate inferioară, deoarece sunt folosite la turnarea unui număr restrâns de semifabricate.

Semifabricatele pentru garnituri de model metalice se toarnă pe linii tehnologice manuale și de serie mică.

Tehnologia de turnare a acestora este identică cu cea a pieselor de la producția de unicat.

Tehnologia de prelucrare a semifabricatelor pentru elementele garniturilor de model cuprinde următoarele operații principale:

- ▶ trasarea pe semifabricate a adaosurilor de prelucrare de pe suprafețele de separație și de pe toate celelalte detalii ce urmează a se prelucra pe mașini-unelte; această operație se face pe mese de trasaj obișnuite, cu aceleași instrumente de măsură și trasaj ca și pentru celelalte tipuri de piese;
- ▶ confecționarea șabloanelor din tablă utilizate la trasarea și controlul prelucrărilor manuale sau mecanice ale tuturor profilelor de formă geometrică neregulată (Fig. 1.34);
- ▶ prelucrarea propriu-zisă a semifabricatelor, care se face *meccanic*, pe suprafețe cu forme geometrice regulate, sau *manual*, pe suprafețe cu forme geometrice neregulate.

Prelucrarea mecanică se face cu mașini-unelte obișnuite sau cu mașini-unelte speciale. Pe mașinile-unelte obișnuite, precum strunguri, freze, raboteze etc., se prelucurează toate suprafețele plane sau cele cu alte forme geometrice regulate. Prelucrarea suprafețelor curbe neregulate, precum și a suprafețelor plane de diferite forme, se poate face cu precizie numai pe mașini-unelte speciale, precum mașinile de frezat cu ax flexibil și cu masă basculantă, precum și mașini de copiat.

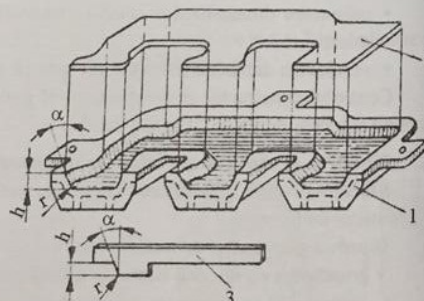


Figura 1.34. Trasarea și controlul prelucrării cutiilor de miez cu șablonul: 1 - cutie de miez; 2 - șablon pentru conturul interior; 3 - șablon pentru adâncimea și înclinația pereților.

Materialele metalice se folosesc pentru executarea cutiilor de miez și a modelelor, în cazul producțiilor de serie mare și masă.

Poziția de turnare se stabilește în funcție de configurația și de complexitatea piesei care urmează a fi turnată.

La alegerea planurilor de separație trebuie să se respecte următoarele condiții:

- planurile de separație trebuie să fie orizontale sau verticale și să permită extragerea modelului din formă, fără distrugerea acesteia;
- forma trebuie să conțină cât mai puține miezuri;
- piesele mici și cu o configurație simplă trebuie să fie turnate într-o singură semiformă.

### Executarea formelor-model în două sau mai multe rame de formare

Metodele de formare sunt redată în figura 1.35.

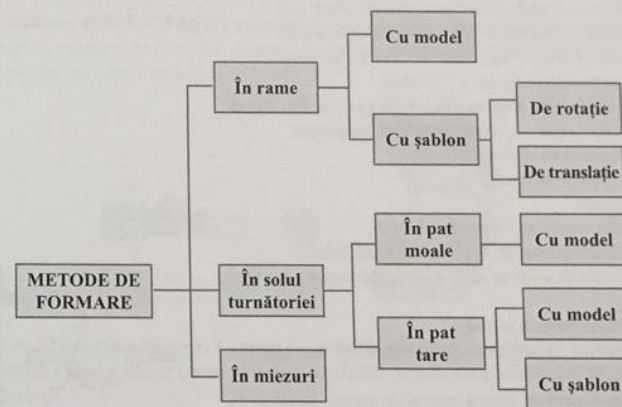


Fig. 1.35. Metode de formare.

### Executarea formelor de turnare

Executarea formelor de turnare sau formarea se poate face manual sau mecanizat.

- Formarea manuală** se recomandă pentru piesele unicate și se poate face în rame, în solul turnătoriei, cu șablonul sau în miezuri.

a) *Formarea în ramă* este metoda cea mai des utilizată; se poate realiza în două sau mai multe rame de formare.

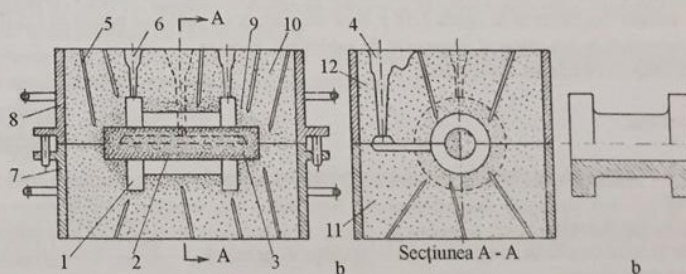


Fig. 1.36. Formă de turnare realizată în două rame.

Metoda clasică o reprezintă formarea în două rame, reprezentată în figura 1.36, unde:

- 1 - cavitatea formei;
- 2 - miezul sprijinit pe mărci (3);

- 4 – rețeaua de turnare;
- 5 – canale de aerisire;
- 6 – răsuflători necesare evacuării gazelor;
- 7, 8 – rame umplute cu amestec de formare îndesat;
- 9 – amestec de model (situat lângă cavitate);
- 10 – amestec de umplere (situat în restul formei);
- 11 – semiforma inferioară (cuprinsă în rama de jos);
- 12 – semiforma superioară (cuprinsă în rama de sus).

Suprafața care desparte forma și cele două semiforme se numește **suprafață de separație**.

b) **Formarea în solul turnătoriei** se folosește în cazul turnării pieselor cu dimensiuni mari, pentru piese mai puțin importante, când nu există rame cu dimensiuni corespunzătoare piesei respective. Formarea în solul turnătoriei este redată în figura 1.37, unde:

- 1 – cocs de turnătorie care asigură evacuarea gazelor din formă;
  - 2 – țevi (3–4 bucăți) pentru evacuarea gazelor în exterior;
  - 3 – rogojină care acoperă stratul de cocs;
  - 4 – amestec de umplere îndesat;
  - 5 – canale de aerisire;
  - 6 – modelul pentru executarea cavității formei;
  - 7 – amestec de model (situat în vecinătatea modelului);
  - 8 – ramă de formare în care se află semiforma superioară (sau capacul);
  - 9 – corniere pentru centrarea ramei;
  - 10 – șine care servesc la obținerea unei suprafețe de separație plană.
- c) **Formarea cu șablonul** se aplică numai în cazul pieselor cu forme de corpuri de rotație sau de translație cu dimensiuni mijlocii și mari. Forma se realizează în solul turnătoriei și, mai rar, în rame.

Formarea cu șablonul implică mai multă manoperă decât formarea în model, iar precizia este mai scăzută.

Totuși, pentru obținerea pieselor unicat sau de serie mică, prețul de cost scade considerabil.

Șabloanele sunt niște plăci profilate, din lemn sau metal, care înlocuiesc modelele.

Profilul părții active, care servește pentru răzuirea amestecului, se determină după configurația și dimensiunile piesei. Pentru piesa turnată reprezentată în figura 1.38 a, sunt necesare două șabloane notate cu I și II (Fig. 1.38 b).

Șablonul se montează în așa-numitul dispozitiv de șablonare, care, la formarea pieselor cu corpuri de rotație, constă din:

- 1 – ax;
- 2 – braț de prindere;
- 3 – suport;
- 4 – șabloane care se fixează, pe rând, în brațul de prindere, cu ajutorul unor șuruburi.

Formarea se efectuează astfel:

- ▶ se pregătește în solul turnătoriei un pat tare (solul turnătoriei prezintă un grad mare de îndesare);
- ▶ se șablonează conturul interior al piesei  $S_1$  cu șablonul I (Fig. 1.39 a);
- ▶ se pudrează cavitatea obținută, se scoate șablonul I de pe ax, se așază pe sol o ramă de formare în care se execută semiforma superioară (Fig. 1.39 b);

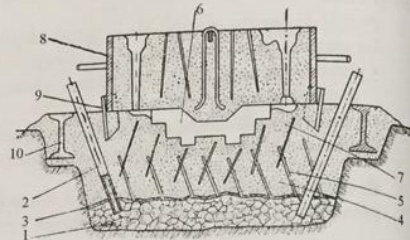


Figura 1.37. Formă executată în solul turnătoriei.

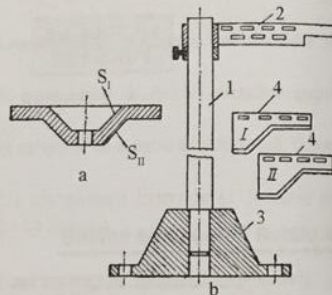


Fig. 1.38. Dispozitiv de șablonare.

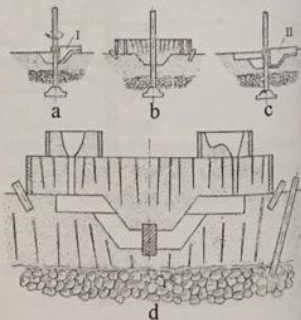


Figura 1.39. Formarea în solul turnătoriei.

- ▶ se ridică semiforma superioară, se montează pe ax șablonul II, cu care se șablonează conturul exterior SII al piesei (Fig. 1.39c);
- ▶ se scoate șablonul și axul din suport și se închide forma pentru turnare (Fig. 1.39 d).

### Executarea miezurilor

Miezurile se pot executa, ca și formele, manual sau mecanizat.

Formarea manuală a miezurilor. Configurația miezului corespunde golului interior din piesa turnată, ținând cont de adaosurile de prelucrare, adaosurile tehnologice și de cele de contracție.

Pentru poziționarea în formă, miezul este prevăzut cu mărcile 1 (vezi fig. 1.40 a).

Cutia de miez (Fig. 1.40 b) este prevăzută cu o cavitate având configurația și dimensiunile miezului (1) în care se îndesă amestecul de formare. Cutia de miez (2) poate fi dintr-o bucată sau din mai multe părți, plasate astfel încât să permită extragerea ușoară a miezului. Părțile componente ale cutiei se asamblează și se centrează cu ajutorul a două cepuri (3) și a unor găuri de ghidare (4). Canalele de aerisire se obțin cu ajutorul fitilelor de ceară (5). Cutiile de miez pot fi executate din lemn sau din materiale metalice.

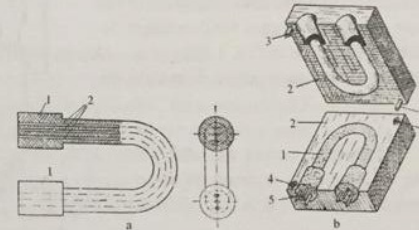


Fig. 1.40. Miez și cutie de miez: a – miez; 1 – mărci; 2 – canale de aerisire; b – cutie de miez.

Executarea manuală a miezurilor se pretează pentru producția de unicat și serie mică și se face cu ajutorul cutiilor de miez sau al șabloanelor.

## 1.7. TURNAREA MECANIZATĂ

**Formarea mecanizată** constă în mecanizarea operațiilor grele, cum ar fi: umplerea ramelor cu amestec de formare; îndesarea amestecului de formare; extragerea modelului din formă; transportul formelor.

**Formarea mecanizată a miezurilor** se pretează la producția de serie mare și se execută în cutii de miez, la mașini de format miezuri. În general, mașinile de format miezuri funcționează pe aceleași principii cu mașinile de executat forme, umplerea cutiei de miez cu amestec și îndesarea amestecului fiind mecanizate. Mașinile de format miezuri au dimensiuni mai mici decât mașinile de executat forme.

Îndesarea amestecului de miez în cutie se face prin: împingere, presare, scuturare, suflare, împușcare. Aceste mașini de format miezuri au fost prezentate în cadrul capitolului 1.5.

### Turnarea în forme permanente

Turnarea în forme permanente se folosește în cazul producției de serie mare și de masă.

Formele permanente sunt realizate din: fontă, oțel, aliaje neferoase, materiale nemetalice (precum grafitul) și materiale metalo-ceramice, în funcție de aliajul care se toarnă, de mărimea și configurația piesei turnate.

Formele permanente se numesc, în mod uzual, **cochile**.

În figura 1.41 este prezentat în vedere planul de separație a unei cochile compuse din două semiforme cu miezuri permanente, demontabile. Cochila este utilizată pentru obținerea unui corp de robinet, turnat din aliaje neferoase.

Înainte de fiecare turnare, cochilele se pregătesc prin:

- verificarea manuală a calității suprafețelor generatoare ale piesei;
- verificarea centrării și a închiderii cochilei;

- depunerea pe suprafețele active ale cochilei a unui strat refractar de protecție, alcătuit din pudră de cuarț silicat de sodiu sau argilă refractară, grafit și ulei mineral;
- acoperirea stratului protector depus anterior cu vopsea refractară, în funcție de tipul aliajului turnat.

### Turnarea în forme permanente statice

Turnarea în forme permanente statice se poate face fără presiune (turnarea liberă, sub acțiunea forței gravitaționale, la presiune atmosferică), cu suprapresiune, cu depresiune (prin aspirație).

La **turnarea fără suprapresiune**, metalul topit este turnat într-o pâlnie, iar, de acolo, prin intermediul rețelei de turnare ajunge în cavitatea cochilei. În cazul acestui procedeu există riscul ca, din cauza vitezei mari de răcire a metalului, umplerea formei să se facă incomplet. Pentru creșterea fluidității topiturii în cavitatea formei, la realizarea pieselor cu pereți subțiri și configurație complexă, se poate recurge la vibrarea formei în timpul turnării și al solidificării.

**Turnarea cu suprapresiune** (sub presiune) elimină riscul umplerii incomplete a formei. Turnarea se realizează cu ajutorul unei mașini de turnat sub presiune, care funcționează ca niște pompe, presiunea fiind realizată de către un piston cu ajutorul unui gaz sub presiune. (vezi Fig. 1.16)

După tipul camerei de compresie, tipurile constructive de mașini de turnat sub presiune se clasifică în:

- cu cameră caldă:
  - cu piston vertical;
  - cu piston orizontal;
  - cu compresor.
- cu cameră rece:
  - orizontală;
  - verticală.

### Turnarea prin aspirație

Procedeu utilizază depresiunea relativă (vidul) dintre cavitatea formei și baia metalică a creuzetului de menținere pe durata alimentării, a umplerii formei și a solidificării piesei.

Procedeu este utilizat în producția de serie și de masă, pentru realizarea pieselor cu o precizie ridicată, cu dimensiuni mici și medii, obținute din aliaje ușoare.

Schema de principiu a unei instalații de turnat prin aspirație este prezentată în figura 1.17.

### Turnarea în forme permanente în mișcare

Procedeu de turnare în forme permanente în mișcare constă în turnarea metalului lichid în forme metalice care efectuează o mișcare de rotație. Metalul topit este proiectat de forța centrifugă pe pereții formei. Procedeu mai poartă numele de **turnare centrifugală**.

Prin acest procedeu se obțin piese cu gol interior, fără să fie necesară folosirea miezurilor.

Forța centrifugă  $F_c$  este dată de relația:  $F_c = m\omega^2 r$ , unde:

- $m$  = masa particulei de metal;
- $\omega$  = viteza unghiulară;
- $r$  = distanța particulei la axa de rotație.

Se deosebesc două metode:

- turnarea în forme cu axa de rotație verticală;
- turnarea în forme cu axa de rotație orizontală.

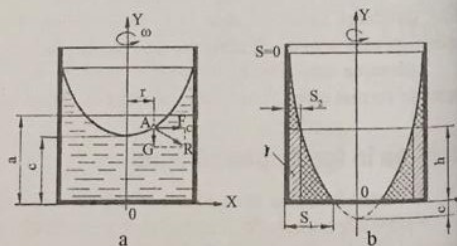


Fig. 1.42. Formă cu axă de rotație verticală.

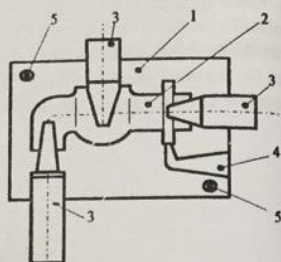


Fig. 1.41. Cochilă asamblată:  
1 - semicochilă; 2 - cavitatea generatoare a piesei; 3 - miezuri; 4 - rețeaua de turnare; 5 - știfturi de centrare a semicochilelor.

### Turnarea în forme cu axa de rotație verticală

Se consideră un vas cilindric umplut cu lichid până la înălțimea  $a$  (Fig. 1.42. a).

În repaus, suprafața liberă a lichidului este plană. Învârtindu-se vasul în jurul axei verticale OY, suprafața liberă a lichidului se curbează. La viteză unghiulară constantă, forma suprafeței se menține neschimbată. În această situație, o particulă de lichid A este solicitată de forța centrifugă  $F_c$ , de forța gravitațională  $G$  și de reacția lichidului egală și de sens contrar cu rezultanta R, orientată normal pe suprafața liberă în A.

Se obține o curbă a cărei ecuație corespunde unei parabole. Prin urmare, suprafața lichidului este un paraboloid.

La o viteză  $\omega$  suficient de mare se obține situația din figura 1.42 b. Piesa obținută 1 este goală la interior, forma sa este parabolică, iar grosimea peretelui variază pe înălțime, de la  $S_1$  la 0.

Pentru a obține o piesă cu înălțimea  $h$  și o grosime minimă  $S_2$ , va fi necesar să se limiteze înălțimea de ridicare a metalului în formă; în această situație, piesa va prezenta un surplus de metal reprezentat în figură prin hașura dublă. Din această cauză, turnarea centrifugală în forme cu axă de rotație verticală se aplică în bune condiții numai la realizarea pieselor subțiri, de înălțime mică și diametru mare, cum sunt: bușele, coroanele, inelele, flanșele, bandajele etc.

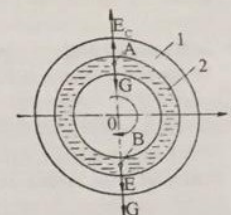


Fig. 1.43. Formă cu axa de rotație orizontală: 1 - formă; 2 - lichid.

### Turnarea în formă cu axa de rotație orizontală

În figura 1.43, este reprezentată o secțiune transversală, prin forma în mișcare de rotație. În cazul particulei din punctul A, forța centrifugă  $F_c$  și forța gravitațională  $G$  au sensuri contrare, iar pentru B, ele au același sens.

Solicitarea maximă o suportă, deci, particulele din partea inferioară a planului diametral vertical. Pentru a obține piese de grosime constantă, se pleacă de la condițiile de echilibru ale particulei de metal din punctul A. Echilibrul particulei din A ( $F_c = G$ ) se obține atunci când turația atinge o anumită valoare (turația critică).

La turnare, se adoptă o turație mult mai mare decât cea critică.

Procedeu de turnare centrifugală în forme cu axa de rotație orizontală se aplică pentru obținerea pieselor cu lungime mare, precum: țevi, cămăși pentru cilindri de motoare etc.

Turnarea centrifugală se realizează cu mașini acționate mecanic sau pneumatic.

Prin procedeu de turnare centrifugală se pot turna piese bimetalice: în interiorul unei piese-suport executate dintr-un material mai greu fuzibil și mai ieftin se toarnă un strat de aliaj mai ușor fuzibil, cu proprietăți anticorozive sau rezistent la uzură. Se pot obține astfel țevi placate cu aliaj anticoroziv, cuzineți din materiale neferoase, pe suporturi de oțel, bușe bimetalice.

## 1.8. CONTROLUL CALITĂȚII PIESELOR TURNATE

Tendința actuală în domeniul controlului calității produselor o constituie accentuarea laturii preventive, previzionale și active, în detrimentul celei constatative, pasive. De aceea, este important să se țină sub control procesul tehnologic.

În privința controlului final al pieselor turnate, acesta trebuie să utilizeze metode adecvate în raport cu materialul, mărimea, configurația și importanța piesei.

Pentru determinarea defectelor interne de turnare, se pot utiliza metode de control distructiv și nedistructiv.

**Metodele de control distructiv** au astăzi o importanță mai mult istorică. Ele sunt costisitoare și, din această cauză, se folosesc mai ales în stadiul de omologare a tehnologiilor de turnare, precum și atunci când se cercetează cauzele apariției defectelor de turnare.

**Metodele de control nedistructiv** permit aplicarea controlului integral (100% din lotul de piese realizate).

Cele mai utilizate metode de control nedistructiv sunt următoarele:

- ♦ **controlul vizual (CV)**, care se efectuează după dezbateră formei și curățarea piesei. Se pot utiliza atât endoscoape, pentru zonele interioare greu accesibile, cât și lupe sau microscopie. În ultimul timp, odată cu dezvoltarea informaticii, au apărut dispozitive optoelectronice care permit controlul vizual automat.

- **controlul dimensional (CD)**, care poate pune în evidență defecte de tipul dimensiunilor și al formelor necorespunzătoare (DT1) – Tabelul 3, ANEXA – și, uneori, defecte de suprafață (DT2).
- **controlul prin cântărire (CPC)**, care poate pune în evidență defecte de tipul maselor necorespunzătoare (DT1), al golurilor (DT4) sau al incluziunilor nemetalice (DT5).
- **controlul acustic (CA)**, care se face prin lovirea piesei suspendate liber, astfel încât să se poată evidenția acustic discontinuitățile de material, cum ar fi golurile (DT4) și fisurile (DT3).
- **controlul la presiune hidraulică (CPH)**, care se aplică pieselor a căror etanșitate este importantă (corpuri de pompe, recipienti, calorifere etc.). Se pot pune în evidență și defecte de tipul neconcordanței proprietăților mecanice (DT72).
- **controlul cu lichide penetrante (CLP)**, care poate pune în evidență numai defectele deschise, de tipul crăpăturilor și al fisurilor (DT3), precum și unele defecte de suprafață.
- **controlul cu pulberi magnetice (CPM)**, care poate pune în evidență discontinuitățile din materialul piesei situate în apropierea suprafeței prin care se face examinarea. Se pot detecta defecte precum: crăpături (DT3), goluri (DT4), incluziuni (DT5).
- **controlul cu ultrasunete (CUS)**, care poate pune în evidență defecte precum: fisuri (DT3), goluri (DT4), incluziuni (DT5), situate oriunde în masa piesei. Prin metode speciale se pot evidenția și defecte de structură (DT6).
- **controlul prin emisie acustică (CEA)**, care poate pune în evidență defecte precum: fisuri (DT3), goluri (DT4), incluziuni (DT5), situate oriunde în masa piesei.
- **controlul termografic (CT)**, care poate pune în evidență diverse discontinuități superficiale: fisuri (DT3), goluri (DT4), incluziuni (DT5).
- **controlul cu radiații penetrante (CRP)**, care poate pune în evidență defecte de tipul: DT3, DT4, DT5 situate oriunde în masa piesei. Prin metode speciale se pot determina și defecte de tipul: DT1, DT2, DT6.

Din tabelul 1.2, se observă că metodele de control nedistructiv sunt limitate în ceea ce privește determinarea defectelor de structură (DT6) și a defectelor de compoziție (DT7).

În aceste cazuri, se utilizează metode de control distructiv, aplicate pe epruvete (piese de probă).

Tabelul 1.2. Aplicabilitatea controlului nedistructiv la pisele turnate

Metoda de control nedistructiv	Tipul defectului						
	DT 1	DT 2	DT 3	DT 4	DT 5	DT 6	DT 7
CV	X	X	X	X	X		
CD	X	X					
CPC	X			X			
CA			X	X			
CPH		X	X	X			X
CLP		X	X				
CPM			X	X	X		
CUS			X	X	X	X	
CEA			X	X	X		
CT			X	X	X		
CRP	X	X	X	X	X	X	

## 1.9. DEFECTELE PIESELOR TURNATE. CAUZE



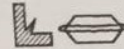
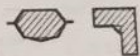


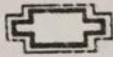



Defectele pot fi cauzate de nerespectarea tehnologiei de turnare, de utilizarea unor materii prime și materiale neconforme și de alegerea nejudicioasă a procedurii de turnare.

Apariția defectelor de turnare se poate datora:

- 50% deficiențelor de concepție și de proiectare a piesei;
- 50% deficiențelor de execuție – tehnologia, disciplina tehnologică –, cauzelor accidentale.

În tabelul 1.3 sunt redată defectele pieselor turnate și cauzele posibile de producere a acestor defecte.

Tabelul 1.3. Defectele pieselor turnate

Cauze posibile ale apariției defectelor pe traseul tehnologic						
Simbol	Denumirea defectului	Proiectarea piesei	Proiectarea formei	Proiectarea tehnologiei	Execuție	Reprezentarea schematică a defectului
<b>DT 1 FORME, DIMENSIUNI, MASE NECORESUNZĂTOARE</b>						
DT 11	Umplere incompletă a formei	Pereți prea subțiri	Rețea de turnare subdimensionată	Temperatură de turnare prea mică; Material insuficient.	Infiltrarea materialului lichid prin planul de separație	
DT 12	Dezaxare	–	Jocuri mari ale știfturilor de închidere a ramelor; Miezuri cu mărci prea mici.	–	Montare greșită a modelelor; Asamblare necorespunzătoare a semiformelor și a miezurilor.	
DT 13	Bavură	–	Rame necorespunzătoare; Jocuri transversale mari la mărcile miezurilor.	–	Consolidare și ajustare necorespunzătoare a formei	
DT 14	Umflătură	–	Rezistență insuficientă a formei	–	Deformarea formei din cauza rezistenței mecanice slabe; Grad de îndesare neuniform.	
DT 15	Deformare	Diferența de grosime între pereți	Rezistență insuficientă a formei	Modul de răcire a piesei; Tratamentul termic.	Rezistența insuficientă a formei	
DT 16	Știrbire	–	–	–	La cald, cauzată de tăierea cu flacără a maselotelor; La rece, cauzată de dezbaterea formelor.	
DT 17	Dimensiune necorespunzătoare	–	Model necorespunzător; Rezistență redusă a formei.	–	Model necorespunzător; Demulare greșită, Rezistență redusă a formei.	
DT 18	Masă necorespunzătoare	–	Model necorespunzător	Amestec de formare necorespunzător	Amestec de formare necorespunzător; Deplasarea miezului în formă; Model necorespunzător.	Idem
<b>DT 2 DEFECTE DE SUPRAFAȚĂ</b>						
DT 21	Aderență (termică, chimică, mecanică)	–	–	Amestec de formare necorespunzător	–	
DT 22	Repriza (sudura la rece)	Pereți prea subțiri	Amplasare greșită a rețelei de turnare	Temperatură și viteză de turnare prea mici; Fluiditate redusă a aliajului.	Întreruperea turnării	
DT 23	Excrescență	–	Amplasare greșită a rețelei de turnare; Rezistență insuficientă a formei.	Amestec de formare necorespunzător	Grad de îndesare redus	

DT 24	Creastă	-	Modele cu înclinări necorespunzătoare	Uscarea prea rapidă a formelor	Uscarea prea rapidă a formelor; Demulare greșită.	
DT 25	Picătura	-	-	-	Licuția (separarea componentelor aliajului la solidificare)	
DT 26	Arsura	-	-	Recoacerea necorespunzătoare a pieselor	-	
DT 27	Urme de deteriorare	-	-	-	Dezbatere defectuoasă	
DT 281	Caria	-	-	Degajare locală de gaze	-	
DT2282	Rugozitate mare	-	-	Alegerea necorespunzătoare a amestecului de formare	Pătrunderea aliajului prin porii formei	
DT2283	Crusta	-	Dilatarea locală a pereților formei	Alegerea necorespunzătoare a amestecului de formare	-	
DT 284	Fagure	-	-	Temperatură de turnare prea mare	Aliaj supraîncălzit, oxidat	
DT 3	<b>CRĂPĂTURI</b>					
DT 31	Crăpături la cald	Treceri bruște	Frânarea contracției de către forma de turnare	Conținut ridicat de liant în amestecul de formare	Grad de îndesare prea mare	
DT32	Crăpături	-	Amplasare greșită a rețelei de turnare	Temperatura și viteza de turnare prea mari	-	
DT 33	Crăpături la tratament termic	-	-	Încălzire prea rapidă a piesei; Răcire prea rapidă la călire.	-	
DT 4	<b>GOLURI ÎN CORPUL PIESEI</b>					
DT 41	Sulfuri	-	Rețea de turnare necorespunzătoare	Degazare necorespunzătoare; Umiditate mare a formelor; Temperatura de turnare mică.	Îndesarea prea mare a formelor; Întreruperea turnării.	
DT 42	Sita	-	-	Elaborare necorespunzătoare a aliajului; Amestec de formare necorespunzător.	-	
DT 43	Retasura	-	Amplasare necorespunzătoare a maselotelor	Dirijarea necorespunzătoare a solidificării	-	
DT 44	Microretasura	Noduri termice, pereți inegali	Dimensionarea și amplasarea greșită a maselotelor	Temperatură prea ridicată de turnare	Montare excentrică a miezurilor	
DT 45	Porozități	-	-	Solidificare necorespunzătoare	-	

DT 5							INCLUZIUNI			
DT 51	I. de zgură	-	-	Rețea de turnare necorespunzătoare	Viteză de turnare mică; Amestec de formare necorespunzător; Aliaj elaborat necorespunzător.	Întreruperea turnării; Curățare incompletă a zgurii.				
DT 52	I. de amestec de formare	-	-	Rezistență mică a formei	Menținerea formelor crude prea mult timp înainte de turnare	Curățare necorespunzătoare a formei; Repararea și asamblarea necorespunzătoare a formelor.				
DT 53	I. nemetalice	-	-	Amplasare greșită a rețelei de turnare	Dezoxidare necorespunzătoare	Turnare de la înălțime prea mare				
DT 54	Picătura rece	-	-	Rețea de turnare necorespunzătoare	Temperatură prea scăzută de turnare; Umiditate mare a formelor.	Turnare de la înălțime prea mare				
DT 55	I. metalice	-	-	-	-	Asamblare neglijentă a formelor				
DT 6	<b>DEFECTE DE STRUCTURĂ</b>									
DT 61	Licuția	-	-	-	Temperatură mare la turnare; Viteză prea mică de răcire.	Compoziția chimică necorespunzătoare a aliajului	-			
DT 62	Neconcordanță a mărimii grăuntelui	-	-	-	Viteză prea mică de solidificare	Dezoxidare insuficientă pentru oțel; Modificare necorespunzătoare pentru fonte și neferoase.	-			
DT 63	Zonă dură (pentru piese din fontă)	-	-	-	Tratament termic necorespunzător; Remediere greșită prin sudare.	-				
DT 64	Segregația	Piesă cu noduri termice	-	-	Temperatură ridicată de turnare pentru piesele cu pereți groși; Răcirea piesei cu viteză mică.	Elaborarea necorespunzătoare a aliajului (oxizi, gaze, incluziuni)	-			
DT 65	Neconcordanță a structurii	-	-	-	Neconcordanță între viteza de răcire, compoziția chimică și grosimea pereților piesei; Tratament termic necorespunzător.	-	-			
DT 66	Strat de carburat	-	-	-	Tratament termic necorespunzător	-	-			
DT 7	<b>COMPOZIȚIA CHIMICĂ, CARACTERISTICI MECANICE ȘI FIZICE NECORESUNZĂTOARE</b>									
DT 71	Neconcordanța compoziției chimice	-	-	-	-	Elaborare necorespunzătoare; Dozare greșită; Conducere greșită a procesului.	-			
DT 72	Neconcordanța proprietăților mecanice	-	-	-	Răcire necorespunzătoare; Tratament termic necorespunzător.	Elaborarea necorespunzătoare a aliajului	-			
DT 73	Neconcordanța caracteristicilor fizice	-	-	-	Compoziție chimică necorespunzătoare; Tratament termic necorespunzător.	-	-			

## 1.10. REMANIEREA PIESELOR CU DEFECTE DE TURNARE

Remanierea pieselor cu defecte de turnare este o operație distinctă, inclusă în fluxul de fabricație după dezbatere formelor și extragerea pieselor.

Din punct de vedere economic, remanierea defectelor este o operație costisitoare, care se realizează manual, în regim de piese unicat. De aceea, această operație se justifică atunci când costul rebutării piesei depășește notabil costul remedierii.

Ca procedee de remaniere se pot folosi:

- **procedeele mecanice:** prelucrările prin aşchiere; dăltuirea; îndreptarea; ştemuirea; ştiftuirea; buşarea; placarea; împănarea etc.;
- **procedeele metalurgice:** metalizarea; lipirea; sudarea; turnarea prin topire alumino-termică; retopirea sub strat de zgură; supraturmare; tratamentele termice;
- **procedeele chimice:** impregnarea; chituirea.

Aplicabilitatea metodelor de remaniere este prezentată în tabelul 1.4.

Tabelul 1.4. Aplicabilitatea metodelor de remaniere

Metode de remaniere	Tipul defectului						
	DT 1	DT 2	DT 3	DT 4	DT 5	DT 6	DT 7
Aşchiere		X		X			
Dăltuire	X	X					
Îndreptare	X						
Ştemuire		X		X			
Ştiftuire		X		X	X		
Buşare		X		X	X		
Placare	X	X		X	X		
Împănare			X				
Metalizare	X	X					
Lipire			X	X			
Sudare	X		X	X	X		
Turnare alumino-termică	X		X				
Retopire în baie de zgură	X		X	X	X	X	X
Supraturmare	X		X	X			
Tratamente termice						X	X
Impregnare		X		X			
Chituire		X	X	X			

## TEME ȘI TESTE RECAPITULATIVE



## 1. Noțiuni generale de turnătorie

I. Citește cu atenție enunțurile de mai jos și răspunde prin adevărat sau fals:

1. Procedeul de turnare este cu atât mai rentabil, cu cât piesa turnată are mai multe suprafețe identice cu ale piesei finite.
2. Cu ajutorul modelelor confecționate din lemn, se pot realiza cca 150.000 de formări.
3. Miezul servește pentru obținerea conturului exterior al piesei turnate.
4. Rama de formare are rolul de a susține materialul formei.
5. Metalul topit ajunge în cavitate prin intermediul unor canale care alcătuiesc rețeaua de turnare.
6. Operațiile de executare a formei de turnare reprezintă formarea.
7. Operațiile de extragere a piesei turnate prin distrugerea formei și îndepărtarea miezului din piesa turnată alcătuiesc așa-numita dezbatere a formei.
8. În cazul producțiilor de unicate și serie mică, cutiile de miez și modelele se confecționează din materiale metalice.

II. Alege varianta corectă de răspuns:

1. Cu ajutorul modelelor metalice confecționate din aluminiu se pot realiza:

- a. cca 100...2.000 de forme;
- b. cca 70.000 de forme;
- c. cca 120.000 de forme.

2. Componenta cea mai importantă a garniturii de model este:

- a. modelul propriu-zis;
- b. modelul rețelei de turnare;
- c. modelul maselotelor.

3. Pentru realizarea modelelor metalice se folosesc:

- a. aliajele de aluminiu, bronzurile, oțelurile-carbon de calitate, oțelurile de scule;
- b. fontele cenușii, oțelurile aliate, alamele, aliajele de plumb;
- c. aliajele de aluminiu, fontele cenușii, bronzurile și alamele, aliajele de plumb.

III. Întocmește în laboratorul de informatică al școlii o Fișă recapitulativă. Răspunde la cerințele cuprinse în ea și apoi adaug-o în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împrospătezi cunoștințele.

## FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Denumește materialele din care se pot executa garniturile de model.
2. Enumeră principalele elemente care alcătuiesc garnitura de model.
3. Precizează ce influențe are rețeaua de turnare.

## LUCRARE DE LABORATOR:

Identifică materialele din care sunt executate modelele și ramele de formare aflate în atelierele școlii sau ale agenților economici și reprezintă grafic (schiță sau desen la scară) câteva din acestea.

Lucrarea de laborator se va adăuga în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”.



## 2. Echipamente, utilaje, SDV-uri specifice operației de turnare

### I. Alege varianta corectă de răspuns:

1. Amestecătoarele se grupează în:
  - a. amestecătoare continue și discontinue;
  - b. amestecătoare speciale și progresive;
  - c. amestecătoare progresive.
2. Separarea bucăților metalice neferoase din amestecul de formare se face cu:
  - a. separatorul magnetic;
  - b. separatorul electric;
  - c. cu ambele separatoare menționate la punctele „a” și „b”.
3. Pentru îmbunătățirea uniformității îndesării se folosesc diferite soluții, precum:
  - a. micșorarea înălțimii ramei suplimentare;
  - b. îndesarea cu sabot profilat;
  - c. îndesarea cu șablonul.

### II. Răspunde prin adevărat sau fals:

1. Cele mai utilizate scule folosite pentru îndesarea mecanică sunt bătătoarele.
2. Pentru extragerea modelului din formă se folosesc lanțetele, croșetele, esurile.
3. Plăcile-model prezintă la partea inferioară nervuri de întărire care au rolul să păstreze suprafața activă perfect plană.
4. Pentru reducerea numărului de plăci-model în cazul formării unei game mari de piese, se utilizează plăci coordonate, care permit schimbarea modelului folosindu-se rețeaua de găuri în care se fixează modelul.
5. Mașina cu cameră caldă cu piston orizontal este utilizată în cazul pieselor de dimensiuni mari, deoarece permite injectarea unor volume mai mari de material, datorită cursei mai mari a pistonului orizontal față de cel vertical.
6. Turnarea centrifugală se poate realiza numai în mașini cu axă orizontală.

III. Întocmește în laboratorul de informatică al școlii o Fișă recapitulativă. Răspunde la cerințele cuprinse în această fișă și adaug-o în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împrospătezi cunoștințele.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Prezintă etapele procesului tehnologic de turnare prin aspirație.
2. Prezintă procedeul de uscare a formelor și a miezurilor cu ajutorul uscătoarelor transportabile.
3. Menționează normele de tehnică a securității muncii și măsurile de prevenire și stingere a incendiilor la turnare.

### LUCRARE DE LABORATOR

1. Identifică sculele și dispozitivele din atelierul școlii, care se folosesc la executarea și repararea formelor.
  2. Precizează operațiile pentru care sunt utilizate sculele și dispozitivele identificate la pct. 1.
- Lucrarea de laborator se va adăuga în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”.

#### Lucrați în echipă!

Formați grupe de 4 elevi și efectuați o vizită de documentare la un agent economic. Culegeți informații referitoare la tehnologia de turnare utilizată. Executați fotografiile ale SDV-urilor și ale utilajelor utilizate în secția de turnătorie și realizați un colaj pe această temă.



## 3. Turnarea manuală

### I. Răspunde prin adevărat sau fals:

1. Formele temporare se realizează din: amestecuri de formare obișnuite și amestecuri de formare speciale.
2. La prepararea amestecurilor destinate executării formelor nu se introduce și amestecul folosit la turnările precedente, chiar dacă acesta a fost în prealabil recondiționat.
3. Înclinările constructive sunt pantele pereților verticali ale pieselor turnate.
4. Alegerea planurilor de separație se face astfel încât să permită extragerea modelului din formă, fără distrugerea acesteia.
5. Executarea manuală a miezurilor se pretează pentru producția de serie mare și se face cu ajutorul cutiilor de miez sau al șabloanelor.
6. Formele permanente se numesc în mod uzual cochile.

### II. Completează spațiile libere astfel încât afirmația să fie corectă:

1. Formarea cu șablonul implică mai multă ..... decât formarea în model.
2. Miezul servește pentru obținerea ..... interior din piesă.
3. Materialele principale de formare sunt nisipurile și .....

### III. Încercuiește litera corespunzătoare răspunsului corect:

1. Piesele turnate cu lungime mare, precum țevile și cămășile pentru cilindrii motoarelor, se obțin prin:
  - a. turnarea în modele ușor fuzibile;
  - b. turnarea în forme permanente;
  - c. turnarea centrifugală în forme cu axă de rotație orizontală.
2. Taierea lemnului în vederea realizării garniturilor de model se execută cu:
  - a. fierăstrăul cu panglică;
  - b. cuțite speciale;
  - c. mașina de rindeluit.

IV. Întocmește în laboratorul de informatică al școlii o Fișă recapitulativă, după modelul prezentat în continuare. Răspunde la cerințele cuprinse în ea și adaug-o în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împrospătezi cunoștințele.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Prezintă cele mai reprezentative procedee de turnare.
2. Prezintă cele mai utilizate metode de control, precizând ce pun acestea în evidență.
3. Enumeră procedeele de remaniere a pieselor turnate.
4. Precizează scopul pentru care se realizează uscarea formelor și a miezurilor.

### LUCRARE DE LABORATOR

Identifică materialele din care sunt executate piesele turnate din atelierul școlii. Stabilește planul de separație, procedeul de turnare și eventualele defecte de turnare. Reprezintă grafic (schiță sau desen la scară) câteva dintre acestea.

Lucrarea de laborator va fi adăugată în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”.

## DEFORMAREA PLASTICĂ PRIN FORJARE

### 2.1 Noțiuni introductive

### 2.2 Procedee de forjare

### 2.3 Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice operației de forjare

# 2

#### COMPETENȚE ȘI DEPRINDERI

Noțiunile prezentate în acest capitol contribuie la înțelegerea fenomenelor privind:

- factorii care influențează plasticitatea materialelor forjabile;
- procedeele de prelucrare prin deformare plastică în funcție de solicitările exterioare la care sunt supuse;
- operațiile de pregătire a materialelor în vederea forjării;
- tehnologia forjării libere și a forjării în matrice;
- alegerea corectă a echipamentelor, a utilajelor și a SDV-urilor specifice operației de forjare.

## 2.1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

### 2.1.1. Deformarea elastică și plastică, starea de tensiune

Sub acțiunea unor forțe exterioare, metalele și aliajele pot suferi *deformări elastice* sau *plastice*.

**Deformarea elastică** a metalelor și a aliajelor se menține numai în timpul acțiunii unor *forțe exterioare* capabile să modifice forma și dimensiunile. La înlăturarea acestor *forțe*, metalul sau aliajul revine la forma și la dimensiunile inițiale.

**Deformarea plastică** este metoda de prelucrare a metalelor și a aliajelor în stare solidă, la cald sau la rece, prin care acestea își modifică forma și dimensiunile, fără să revină la forma inițială, după ce încetează acțiunea forțelor exterioare. Deformarea plastică a metalelor și a aliajelor se produce numai la o anumită valoare a *forțelor exterioare*. Această deformare se menține și după înlăturarea *forței* care a provocat-o.

**Plasticitatea** reprezintă capacitatea materialelor metalice de a se deforma plastic, respectiv de a-și schimba permanent forma și dimensiunile inițiale, sub acțiunea unor forțe exterioare, fără a-și pierde integritatea.

**Superplasticitatea** este capacitatea unor materiale de a se deforma foarte mult și uniform, fără apariția unor deformări locale pronunțate (cum ar fi gătuirea, la încercarea de tracțiune). De exemplu, aliajul Bi-Sn care poate suporta deformări până la 2000%.

#### Comportarea la deformarea elastică și plastică a materialelor metalice

Deformația corpurilor solide se compune, în general, dintr-o deformare elastică și una plastică (remanentă). În funcție de mărimea deformației remanente, materialele se pot clasifica în materiale plastice sau materiale fragile (casante).

## Defomarea plastică prin forjare

35

Materialele care prezintă deformații plastice cu valori mari în comparație cu cele elastice, fără a se produce o slăbire vizibilă a legăturilor dintre particule, sunt *materiale plastice*.

Materialele care, înainte de rupere, suferă deformații plastice mici față de cele elastice sunt *materiale fragile*.

#### Definirea noțiunii de tensiune

Considerăm un corp deformabil de o formă oarecare, asupra căruia acționează un sistem oarecare de forțe exterioare  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , aplicate pe suprafața lui (Fig. 2.1).

În afara forțelor aplicate pe suprafață, pot exista și forțe de volum, adică forțe repartizate pe întregul volum ocupat de corp, cum ar fi greutatea, forțele de inerție sau forțele de atracție magnetică.

Sub acțiunea forțelor exterioare și a forțelor de volum, apar forțe de elasticitate interne, adică forțe de interacțiune între particulele corpului, provocate de deformația acestuia.

Acțiunea forțelor din exteriorul corpului provoacă o stare de tensiune în interiorul corpului.

Mărimea care caracterizează intensitatea repartiției tensiunilor pe unitatea de suprafață a secțiunii se numește *efort unitar* sau *tensiune*.

Principalele caracteristici mecanice ale materialelor se pot determina prin încercări statice de tracțiune. În acest scop, se folosesc epruvete de forme prevăzute în normele tehnice, care se întind cu viteză constantă pe mașina de încercare. În urma încercării, se trasează *curba de încercare la tracțiune* (Fig. 2.2).

Într-o secțiune transversală a epruvetei, tensiunea  $\sigma$  este constantă și se calculează cu relația:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

unde:  $S$  – aria secțiunii transversale, în [mm], variabilă în timpul încercării;  $F$  – forța de tracțiune, în [N].

Pentru a defini comportarea materialului, se trasează *curba caracteristică a materialului* (Fig. 2.3), utilizând epruvete de formă cilindrică.

$$\Delta l = L_u - L_0$$

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100$$

unde:  $\sigma$  – tensiunea efectivă;  $S_0$  – secțiunea inițială a epruvetei;  $\varepsilon$  – deformația relativă;  $L_0$  – lungimea inițială între repere;  $L_u$  – ultima lungime între repere;  $A$  – alungirea relativă.

Până la o anumită valoare a lui  $\sigma$ , notată cu  $\sigma_e$  (limita de elasticitate), materialul se deformează exclusiv elastic, iar relația se reprezintă printr-o dreaptă. Peste această valoare, materialul trece în stare plastică, iar relația  $\sigma = f(\varepsilon)$  este reprezentată printr-o curbă.

În prima fază a deformării plastice, tensiunea rămâne constantă, la valoarea  $\sigma_e$  (limita de curgere), sau oscilează între două valori (limita superioară și limita inferioară de curgere), apărând pe curbă o zonă orizontală (zona de curgere), după care crește monoton până la valoarea maximă  $\sigma_r$ , numită *rezistență la rupere*.

În cazul materialelor fragile, deformarea plastică este redusă (Fig. 2.4), iar în cazul unui material complet fragil (caz ideal), ruperea se produce la limita de elasticitate.

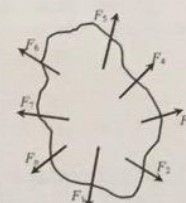


Fig. 2.1. Reprezentarea forțelor ce acționează asupra unui corp oarecare.

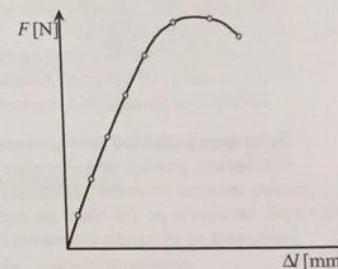


Fig. 2.2. Curba de încercare la tracțiune.

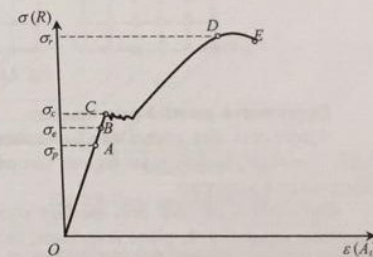


Fig. 2.3. Curba caracteristică a materialului.

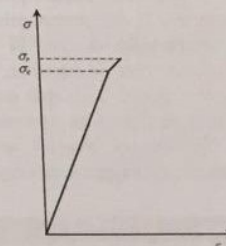


Fig. 2.4. Deformarea plastică în cazul materialelor fragile.

Diferența dintre materialele fragile (casante) și cele cu plasticitate bună poate fi evidențiată și prin determinarea energiei de rupere (integrala curbei de încercare la tracțiune de la  $O$  la  $F_r$ ) (Fig. 2.5). Se observă că, în cazul materialelor plastice (oțel moale), valoarea energiei de rupere este mare, iar în cazul materialelor fragile (ceramică) este redusă.

## 2.1.2. Mecanismul deformării plastice

### Mecanismul deformării plastice a monocristalelor

Deformarea plastică a monocristalelor are loc prin deplasarea unor porțiuni ale acestora în raport cu altele, de-a lungul unor plane ale rețelei cristaline.

În funcție de modul în care se produce deplasarea în cristal, putem distinge:

- deformarea plastică prin alunecare;
- deformarea plastică prin maclare.

#### Deformarea plastică prin alunecare

Deformarea plastică prin alunecare constă în deplasarea în întregime a unei părți din cristal, la început pe plane cu densitate maximă de atomi (numite și *plane de alunecare*) și în direcțiile de alunecare pe care atomii au așezarea cea mai densă, iar apoi și pe alte plane ale rețelei cristaline, odată cu creșterea tensiunii, conform figurii 2.6.

Pe măsură ce dislocația avansează în cristal, se produce alunecarea straturilor vecine de atomi.

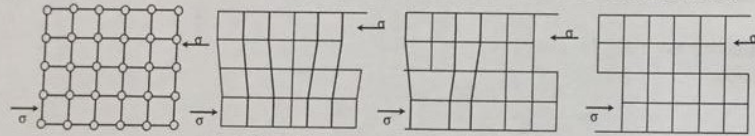


Fig. 2.6. Deformarea plastică prin alunecare.

#### Deformarea plastică prin maclare

Apare mai ales atunci când orientarea rețelei față de direcția tensiunii de deformare nu este favorabilă procesului de deformare prin alunecare.

Deformarea plastică prin maclare constă în deplasarea unui întreg ansamblu de plane învecinate, în raport cu un plan considerat fix. Acest plan, denumit *plan de maclare*, este paralel cu planele pe care au fost deplasați atomii (Fig. 2.7).

Mărimea deformării prin maclare este neglijabilă față de cea produsă de deformarea prin alunecare.

Importanța maclării în timpul procesului de deformare plastică este dată de faptul că, prin modificarea orientării unor plane din monocristal, apar noi plane de alunecare, cu poziție preferențială față de direcția tensiunii de deformare.

Deformarea plastică prin maclare este favorizată de scăderea temperaturii și de creșterea vitezei de deformare.

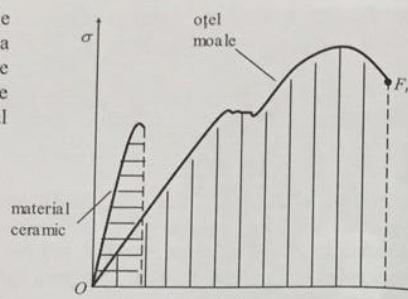


Fig. 2.5. Determinarea energiei de rupere.

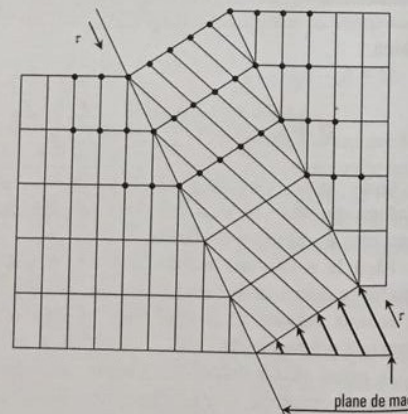


Fig. 2.7. Reprezentarea deformării plastice prin maclare

### Deformarea plastică a agregatelor policristaline

Materialele metalice policristaline sunt alcătuite dintr-un număr mare de cristale ale căror plane de alunecare sunt orientate diferit față de direcția tensiunii. Deși aceste cristale se află într-o permanentă interacțiune, deformarea nu se va produce simultan în tot volumul de material.

## Deformarea plastică prin forjare

Deformarea fiecărui cristal în parte (Fig. 2.8) se realizează după mecanismul prezentat la monocristale și se va produce mai întâi la cristalele ale căror plane de alunecare (1) sunt orientate la unghiul de  $45^\circ$  față de direcția de acțiune a tensiunii de deformare (pe aceste plane apar tensiunile tangențiale maxime).

Cristalele cu planele de alunecare perpendiculare pe direcția de deformare (2) sau paralele cu această direcție (3) nu se deformează prin alunecare, deoarece tensiunile tangențiale după aceste direcții sunt nule. Cristalele cu orientări intermediare se vor deforma mai întâi elastic și se vor orienta preferențial, prin deplasări și rotiri, trecând apoi la deformarea plastică.

Gradul de deformare este diferit de la un grăunte la altul, iar anizotropia deformației (fibrăjul) este cu atât mai mare, cu cât granulația este mai mare. Un agregat policristalin la care toți grăunții au aceeași orientare, după direcția de deformare, are proprietăți apropiate de cele ale monocristalului. Totodată, cu cât granulația este mai fină, cu atât efortul de deformare va fi mai mare.

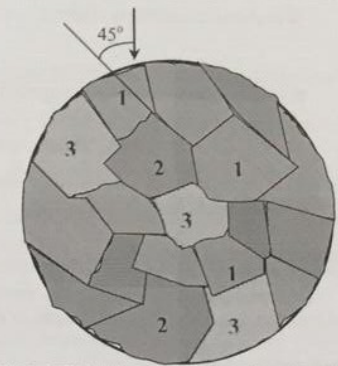


Fig. 2.8. Deformarea cristalelor într-un material.

## 2.1.3. Legile deformării plastice

Deformarea plastică a materialelor metalice se desfășoară conform următoarelor legi:

- Legea volumului constant;
- Legea rezistenței minime;
- Legea similitudinii;
- Legea tensiunilor suplimentare.

### Legea volumului constant

Procesele de deformare plastică nu au ca efect modificarea volumului materialului supus deformării. Doar forma este cea care suportă modificări (Fig. 2.9).

Se consideră un corp paralelipipedic, cu dimensiunile  $L_1, B_1, H$ . Urmare a deformării plastice prin presare, corpul își mărește lungimea ( $L_2$ ) și lățimea ( $B_2$ ) și își micșorează înălțimea ( $h$ ), volumul menținându-se constant ( $V_1 = V_2$ ).

Legea volumului constant prezintă o importanță practică deosebită, deoarece permite calculul dimensiunii semifabricatului inițial, pe baza dimensiunilor piesei finite.

Prin urmare,  $M_1 = M_2$ ;  $\gamma_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot V_2$ , de unde rezultă:  $V_1 = V_2$ , unde:  $M_1$  – masa metalului înaintea deformării;  $M_2$  – masa după deformare;  $\gamma_1$  – greutatea specifică a metalului înaintea deformării;  $\gamma_2$  – greutatea specifică după deformare;  $V_1$  – volumul metalului înaintea deformării;  $V_2$  – volumul după deformare.

În realitate, în timpul proceselor de deformare plastică, densitatea materialelor se modifică cu mai puțin de 10% din valoarea inițială.

La deformarea plastică a unui corp paralelipipedic (Fig. 2.9) se poate scrie:

$$\frac{HB_1L_1}{hB_2L_2} = 1$$

sau  $HB_1L_1 = hB_2L_2$

Deformările care apar ca urmare a solicitărilor sunt următoarele:

■ **Deformația pe înălțime (reducerea)** – se exprimă prin relația:  $\Delta h = H - h$ , iar coeficientul relativ de reducere este:

$$\mu = \frac{H}{h}$$

- **Deformația pe lățime (lățirea)** – se exprimă prin relația:  $\Delta b = B_2 - B_1$ , iar coeficientul relativ de lățire este:

$$\beta = \frac{B_2}{B_1}$$

- **Deformația pe lungime (alungirea)** – se exprimă, în general, prin coeficientul de alungire:

$$\lambda = \frac{L_2}{L_1} = \frac{H \cdot B_1}{h \cdot B_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

unde:  $S_1$  – secțiunea transversală înainte de deformare;  $S_2$  – secțiunea transversală după deformare.  
Folosind coeficienții  $\mu$ ,  $\beta$  și  $\lambda$ , legea volumului constant este:  $\mu = \beta \cdot \lambda$ .

### Legea rezistenței minime

În timpul deformării unui corp, particulele acestuia se vor deplasa în direcția în care acestea vor întâmpina rezistența cea mai mică și nu obligatoriu în direcția celor trei axe principale perpendiculare între ele.

### Legea similitudinii

În timpul deformării plastice, lucrul mecanic  $W$  consumat pentru modificarea formei la corpurile geometrice asemenea (confectionate din același material și în condiții identice) este proporțional cu volumele  $V$  sau cu greutatea corpurilor  $G$ .

### Legea tensiunilor suplimentare

La deformarea plastică, straturile corpului se deformează inegal, cu tendința de a-și modifica dimensiunile în mod diferit. Acestei tendințe i se opune integritatea corpului, astfel încât, în afara tensiunilor principale datorate forțelor exterioare, în corp apar și tensiuni suplimentare, care se echilibrează reciproc.

După îndepărtarea cauzei care a provocat deformarea plastică, tensiunile principale dispar, în timp ce tensiunile suplimentare rămân în corpul deformat, sub formă de tensiuni remanente.

## 2.1.4. Influența deformării plastice asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale metalelor și ale aliajelor

Modificările proprietăților materialelor metalice, care se produc în urma deformării plastice, trebuie cunoscute pentru a fi luate măsurile tehnologice necesare evitării unor modificări nedorite și pentru a face posibilă exploatarea lor în condiții optime.

În afară de modificarea proprietăților de plasticitate și rezistență, în timpul deformării plastice se poate produce și modificarea altor proprietăți:

- creșterea densității ca urmare a compactării;
- scăderea conductibilității electrice;
- reducerea rezistenței la coroziune (coroziune sub tensiune);
- creșterea câmpului coercitiv și reducerea permeabilității magnetice.

## 2.1.5. Materiale forjabile

### Materiale metalice specifice prelucrărilor prin deformare plastică

Materialele metalice supuse forjării trebuie să aibă o plasticitate optimă.

Factorii care influențează plasticitatea metalelor sunt de două tipuri: **metalurgici** – compoziția chimică a materialului; structura metalului – și **tehnologici** – temperatura de deformare; viteza de deformare; rezistența la deformare; gradul de deformare.

### A. Factori metalurgici

#### ● Compoziția chimică a materialului

La majoritatea materialelor metalice se urmărește obținerea unei compoziții chimice care să asigure o structură monofazică.

În cazul oțelurilor, se va ține seama de faptul că, prin creșterea cantității de carbon, plasticitatea scade continuu. Elementele însoțitoare de adaos influențează în mod diferit plasticitatea oțelului. Astfel:

- **manganul** (sub 0,3%) mărește plasticitatea oțelurilor nealiat, iar aflat în concentrații cuprinse între 0,7 și 3%, acesta reduce plasticitatea oțelului;
- **siliciul** (sub 0,3%) nu influențează plasticitatea oțelului; la conținuturi mari de siliciu sau în cazul în care siliciul se găsește sub formă de  $\text{SiO}_2$ , plasticitatea oțelului scade puternic;
- **fosforul** nu influențează plasticitatea la temperaturi ridicate, dar reduce mult plasticitatea la temperaturi scăzute (produce fragilitatea la rece);
- **oxigenul** reduce mult plasticitatea la cald;
- **azotul** prezent sub formă de nitruți nu influențează plasticitatea, la concentrații de până la 0,015%, însă la conținuturi mai mari (peste 0,03%), oțelurile devin fragile;
- **hidrogenul** reduce plasticitatea;
- **nicheul** mărește plasticitatea oțelului, simultan cu creșterea rezistenței la deformare;
- **cromul** reduce plasticitatea și mărește rezistența la deformare;
- **molibdenul** mărește plasticitatea și rezistența la deformare; reduce conductivitatea termică, ceea ce face ca oțelurile să fie sensibile la supraîncălzire;
- **vanadiul** nu afectează plasticitatea și favorizează plasticitatea și favorizează supraîncălzirea.

#### ● Structura metalului

Tipul rețelei cristaline a metalului influențează mult comportarea la deformare. Astfel, metalele cu celulă cubică (Fe, Cr, Mo, W, V, Pb, Cu, Ag, Au, Ni) se deformează mai ușor decât cele cu celulă hexagonală (Mg, Zn, Co). Celula cubică cu fețe centrate (CFC), specifică unor elemente ca: Al, Cu, Ag, Au, Ni, este mai favorabilă deformării plastice decât celula cubică cu volum centrat (CVC), specifică  $\text{Fe}_3\text{C}$ , Cr, Mo, V, W.

Deformarea plastică la cald produce o modificare a structurii și a proprietăților materialelor, din cauza acțiunii simultane a proceselor de deformare și de recristalizare. Pornind de la structura caracteristică lingourilor (cristale mari, porozitate și impurități), se obține o structură cu grăunți mai fini, echiaxiali. Impuritățile nu recristalizează și își păstrează forma alungită printre grăunți.

La grade mari de deformare, cristalele se alungesc în direcția deformației maxime, formând structura fibroasă a materialului (Fig. 2.10 a). Structura fibroasă a metalelor și a aliajelor prelucrate prin deformare rezultă din plasarea particulelor și a incluziunilor în straturi paralele cu direcțiile preferate ale grăunților deformați (Fig. 2.10 b). Această structură este stabilă și nu poate fi distrusă nici prin tratamente și nici prin deformări plastice ulterioare.

La proiectarea procesului tehnologic de prelucrare, pentru a se obține piese cu caracteristici mecanice optime, se va ține seama de structura fibroasă a metalului. În figura 2.11 a, este reprezentată o bară laminată din care apoi, prin forjare, s-a executat un șurub (Fig. 2.11 b). În figura 2.11 c, este reprezentat un arbore cotit, cu fibrajul caracteristic obținerii prin forjare.

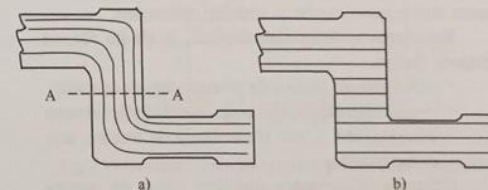


Fig. 2.10. Orientarea grăunților cristalini obținută prin deformare plastică: a - structură fibroasă; b - structură obținută prin turnare.

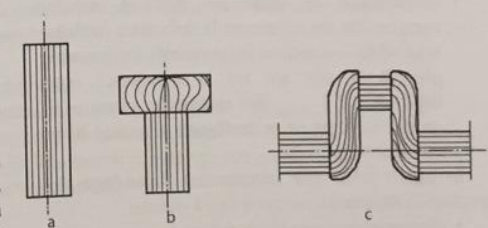


Fig. 2.1. Structuri de piese obținute prin diverse procedee de prelucrare: a - bară laminată; b - șurub forjat; c - arbore cotit forjat.

**B. Factori tehnologici**

**● Temperatura de deformare**

Prin încălzire, materialul metalic primește o cantitate de energie care, la nivel atomic, se manifestă prin intensificarea agitației termice a atomilor în jurul pozițiilor de echilibru. Procesul de alunecare pe planele cu densitate maximă de atomi se poate produce la tensiuni mult mai mici decât la temperaturi reduse. În general, un material încălzit va prezenta un grad de deformare mai mare decât la rece.

**Exemplu:** Al tehnic (99,5% Al) are alungirea la rupere de 50%, la 20 °C, și de 120%, la 400 °C (Fig. 2.12).

În figura 2.13, se poate observa variația alungirii pieselor din oțel în funcție de temperatură.

**● Viteza de deformare**

Este dependentă de temperatura de încălzire. La același material, creșterea vitezei de deformație poate să ducă la reducerea sau la mărirea plasticității.

**● Rezistența la deformare**

Rezistența la deformare  $p$  este rezistența pe care materialele metalice o opun în condițiile concrete ale procedeelor de deformare plastică prin presiune (Fig. 2.14).

Expresia generală a rezistenței la deformare se poate scrie pornind de la ecuația simplificată a plasticității:

$$p = k + q$$

unde:  $k$  – rezistența la deformare naturală, care corespunde stării de stăruie;

$q$  – componenta rezistenței datorate condițiilor de frecare dintre semifabricat și scula de deformare.

Rezistența la deformare depinde, la rândul său, de următorii factori:

- *condițiile de frecare* de pe suprafața de contact;
- *compoziția chimică*; aceasta modifică atât valoarea componentei  $k$ , cât și condițiile de frecare, prin componenta  $q$ .

Existența elementelor de aliere poate da naștere unor oxizi care modifică valoarea coeficientului de frecare.

- *temperatura de deformare* modifică ambele componente ale rezistenței la deformare (ambele scad odată cu creșterea temperaturii). Deformarea plastică la cald are loc la temperaturi care depășesc  $0,7 T_{\text{topire}}$ , fapt ce permite ca procesul de recristalizare să se desfășoare în același timp cu deformarea.

În figura 2.15, este reprezentată dependența de temperatură a rezistenței la rupere ( $\sigma_r$ ) a oțelului.

- *dimensiunile corpului de deformat*; cea mai mare influență asupra lui  $p$  o are înălțimea (dimensiunea în direcția deformației principale), așa cum rezultă din figura 2.16.

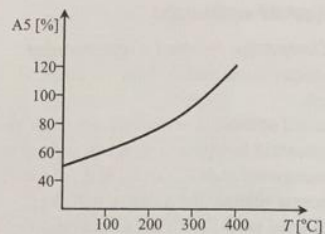


Fig. 2.12. Variația alungirii cu temperatura la Al.

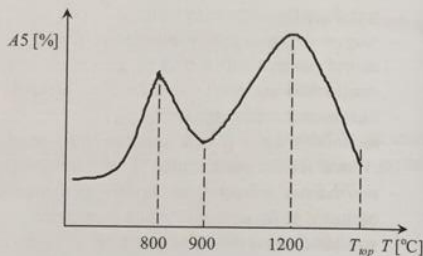


Fig. 2.13. Variația alungirii oțelului în funcție de temperatură

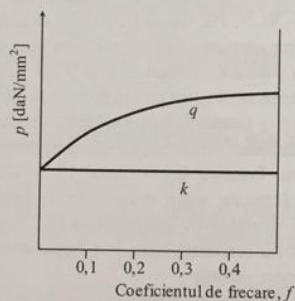


Fig. 2.14. Variația rezistenței la deformare în funcție de coeficientul de frecare.

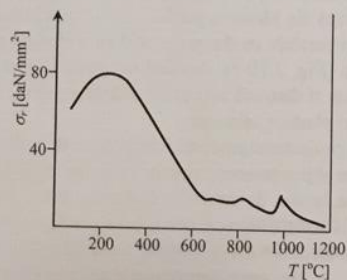


Fig. 2.15. Variația rezistenței la rupere în funcție de temperatură.

- *forma sculei de deformare*; și acest factor influențează valoarea rezistenței la deformare. Suclele de deformare (Fig. 2.17) pot fi convexe ( $\varphi > 0$ ), plate ( $\varphi = 0$ ) sau concave ( $\varphi < 0$ ).  $\varphi$  este unghiul pe care-l face scula de deformat cu planul orizontal. Influența formei sculei este dată de acțiunea forței de deformare și a forței de frecare. În figura 2.18 este reprezentată variația lui  $p$  în funcție de  $\varphi$ .
- *gradul de deformare* ( $\epsilon$ ); acest factor influențează rezistența la deformare, în măsură mai mare la deformarea la rece. În figura 2.19 este reprezentată dependența lui  $\sigma_c$  de  $\epsilon$  pentru diferite oțeluri.

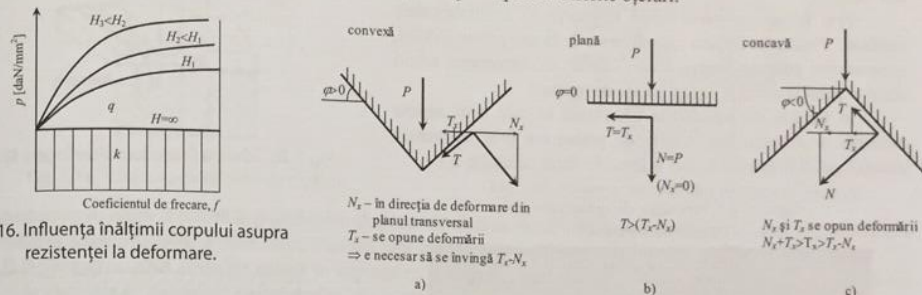


Fig. 2.16. Influența înălțimii corpului asupra rezistenței la deformare.

Fig. 2.17. Influența formei sculei de deformare asupra rezistenței la deformare.

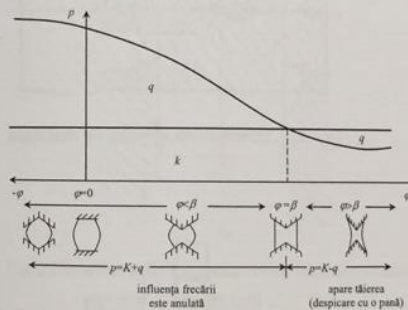


Fig. 2.18. Variația lui  $p$  în funcție de  $\varphi$ .

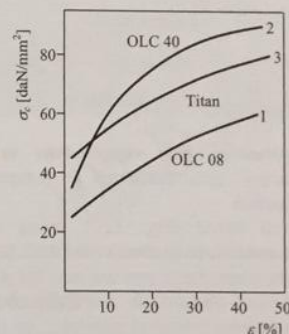


Fig. 2.19. Variația limitei de curgere în funcție de gradul de deformare.

În concluzie, deformarea plastică prezintă o serie de **avantaje**, căci permite:

- obținerea unei structuri cu cristale fine, care asigură caracteristici fizico-mecanice superioare;
  - posibilitatea executării unor piese cu forme complexe;
  - o productivitate ridicată;
  - un consum minim de metal, în cazul pieselor matriteate;
  - o precizie mare a pieselor, îndeosebi la prelucrarea pe mașini specializate.
- Metoda de prelucrare prin deformare plastică prezintă și unele **dezavantaje**:
- investiția inițială pentru dotarea atelierului de forjă cu mașini și instalații este mare;
  - consumul de energie pe unitatea de produs este considerabil.

## 2.2. PROCEDEE DE FORJARE

**Forjarea** este procedeul de prelucrare prin deformare plastică a materialelor metalice, la cald sau la rece, prin lovituri repetate sau prin presare, cu ajutorul unor utilaje acționate manual sau mecanic.

Prin forjare se prelucrează lingourile și semifabricatele laminare. Produsele forjării sunt diverse: de la axe pentru turbine, generatoare, coloane pentru prese, cilindri de laminoare, arbori cotiți și până la cârlige, pârgșii, bare de legătură.

În funcție de solicitările exterioare la care sunt supuse metalele și aliajele, procedeele de prelucrare prin deformare plastică pot fi împărțite în trei grupe, conform tabelului 2.1.

Tabelul 2.1. Procede de prelucrare prin deformare plastică

Procede de prelucrare prin deformare plastică		
Deformarea prin compresiune	Deformarea prin tracțiune-compresiune	Deformarea prin răsucire
forjarea liberă	trafilarea sârmelor	
matrijarea (forjarea în matrijă)	tragerea barelor	
extrudarea	tragerea țevilor	
laminarea	ambutisarea adâncă	

1) **Deformarea prin compresiune** se realizează, în principal, prin solicitarea de compresiune mono și poliaxială.

**Forjarea liberă** (Fig. 2.20) constă în comprimarea succesivă a metalului, cu ajutorul a două scule (nicovale) montate pe ciocane sau prese, dintre care una este fixă și alta mobilă.

**Matrijarea (forjarea în matrijă)** constă în deformarea simultană în întregul volum al metalului, iar curgerea acestuia este dirijată și condiționată de forma și dimensiunile locașurilor matrijei (Fig. 2.21).

**Extrudarea** constă în deformarea sub acțiunea presiunii exercitate asupra metalului, care este obligat să curgă printr-o matrijă, preluând profilul acesteia (Fig. 2.22).

**Laminarea** constă în deformarea metalului între doi cilindri cu axele paralele, care se rotesc continuu, în sensuri opuse (Fig. 2.23). Odată cu deformarea propriu-zisă, cilindrii realizează și avansul metalului, datorită frecării dintre suprafețele cilindrilor și ale metalului.

2) **Deformarea prin tracțiune-compresiune** constă în deformarea metalului printr-o solicitare compusă de tracțiune și compresiune.

**Trafilarea sârmelor și tragerea barelor** constă în tragerea unei sârme sau a unei bare prismatice cu o forță axială (de tracțiune) prin orificiul unei scule numite *fileră*, cu secțiunea transversală mai mică decât cea a materialului inițial (Fig. 2.24).

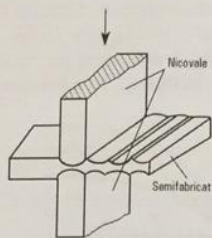


Fig. 2.20. Schema procedului de forjare liberă.

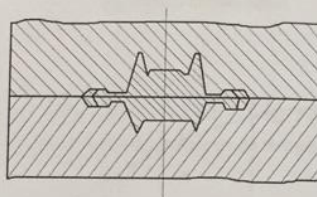


Fig. 2.21. Schema procedului de matrijare.

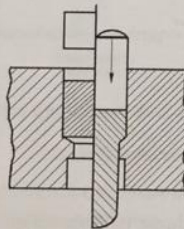


Fig. 2.22. Schema procedului de extrudare.

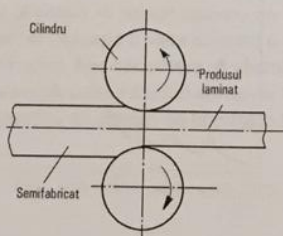


Fig. 2.23. Schema procedului de laminare.

## Defomarea plastică prin forjare

**Tragerea țevilor** este procedeul prin care țeava laminată este deformată prin tracțiune, între o filieră și un dorn care determină diametrul interior al țevii și grosimea de perete (Fig. 2.25).

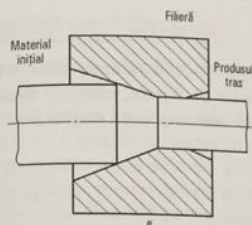


Fig. 2.24. Schema procedului de trafilare.

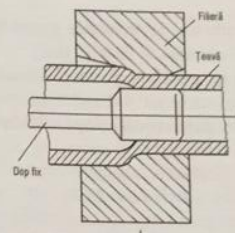


Fig. 2.25. Schema procedului de tragere a țevilor.

**Ambutisarea adâncă** constă în modificarea unui semifabricat de formă plană până la obținerea unei forme concave sau în mărirea adâncimii unui produs concav, cu sau fără modificarea voită a grosimii pereților (Fig. 2.26).

3) **Deformarea prin răsucire** constă în deplasarea prin răsucire a unei porțiuni de semifabricat față de altele, de exemplu la răsucirea „manetoanelor” de la arborii cotiți (Fig. 2.27).

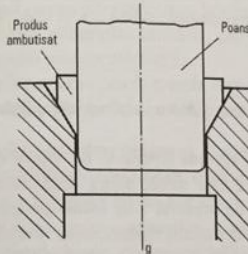


Fig. 2.26. Schema procedului deambutisare adâncă.

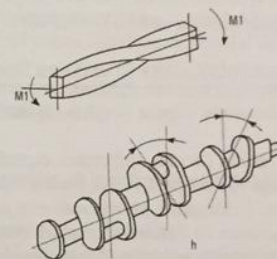


Fig. 2.27. Schema procedului de răsucire.

## 2.2.1. Operații de pregătire a materialelor în vederea forjării

## Debitarea semifabricatelor

**Debitarea semifabricatelor** este operația de tăiere a acestora la lungimea necesară obținerii piesei forjate și constituie o operație pregătitoare de o importanță deosebită, întrucât de dimensiunile inițiale ale semifabricatului depinde reușita forjării.

Debitarea se realizează, de obicei, cu un fierăstrău mecanic și are loc în urma studierii atente a desenului de piesă finită, la dimensiunile căruia se mai adaugă: adaosurile de prelucrare, toleranțele de forjare, adaosurile tehnologice și adaosurile pentru epruvete de încercări mecanice.

Adaosurile de prelucrare, toleranța și abaterile-limită sunt standardizate pentru diverse tipuri de oțeluri forjate liber. Adaosurile tehnologice se stabilesc în funcție de procedeul de forjare ales, de utilajul de forjare, de adaosurile de prelucrare prin așchiere, precum și de adaosurile pentru epruvete, acestea alegându-se din standarde și norme interne.

Masa și dimensiunile materialului de pornire se calculează în funcție de densitatea și volumul piesei forjate, calculat pe porțiuni cu forme geometrice simple, la care se adaugă și volumul racordărilor. La masa piesei forjate se adaugă pierderile rezultate prin tăierea capetelor, bavuri și ardere.

În funcție de procedeul de forjare, se stabilesc dimensiunile secțiunii transversale a semifabricatului inițial. Piesele obținute au o formă geometrică apropiată de cea cerută, urmând ca prin așchiere să se ajungă la dimensiunile prescrise. Deci, dimensiunile unei piese forjate se calculează pornind de la cele ale piesei finite, ținând seama de un

surplus de material destinat acoperirii pierderilor de material și finisării prin așchiere, conform relației:

$$D_{\text{piesă forjată}} = D_{\text{piesă finită}} + A + D$$

unde:

- $A$  este adaosul de prelucrare pentru finisare [mm];
- $D$  este toleranța la forjare [mm].

Piese forjate au caracteristici mecanice superioare produselor laminate și celor turnate, datorită structurii de forjare, care este omogenă și densă. Calitatea pieselor forjate depinde de gradul de forjare, numit și *caroiaj*, adică de raportul dintre secțiunea piesei perpendiculară pe direcția deformării, măsurată înainte și după prelucrare:

$$K = \frac{S_0}{S_1}$$

unde:

- $S_0$  este secțiunea transversală înainte de forjare [mm<sup>2</sup>];
- $S_1$  este secțiunea transversală după forjare [mm<sup>2</sup>].

Gradul de caroiaj depinde de rezistența materialului la deformare, de forța de acționare, care realizează o anumită presiune specifică, și de viteza de deformare. Potrivit datelor experimentale,  $K = 2,5 \dots 4$ , pentru oțelurile de construcție, și  $K = 10 \dots 12$ , pentru oțelurile înalt aliate.

Structura fibroasă rezultată trebuie să urmărească conturul piesei, astfel încât eforturile normale maxime să fie paralele cu direcția fibrelor, iar eforturile tangențiale maxime să fie perpendiculare pe fibre. Starea de tensiuni interne din timpul prelucrării trebuie să fie cuprinsă între limita de curgere  $\sigma_c$  și limita de rupere  $\sigma_r$ , adică  $\sigma_c < \sigma < \sigma_r$  [N/mm<sup>2</sup>].

### Încălzirea semifabricatelor în vederea forjării

Semifabricatele supuse forjării se încălzesc în cuptoare cu propulsie, pentru a avea un control riguros al temperaturii.

Efortul unitar necesar deformării depinde de natura materialului, de regimul termic și de viteza de deformare. Un material metalic se prelucrează plastic mai ușor, dacă limita de curgere este mică, adică dacă tensiunea la care începe procesul deformației permanente este minimă. Astfel, la oțeluri este de preferat a se folosi prelucrarea la cald, deoarece capacitatea de deformare plastică crește considerabil prin scăderea coeziunii materialului. Odată cu creșterea temperaturii, asistăm la reducerea lucrului mecanic de deformare, deci și a energiei mecanice consumate.

Pentru a se obține piese de bună calitate, este necesar ca procesul de deformare plastică să decurgă într-un anumit interval de temperatură, numit *interval de prelucrare*. Limita superioară a acestui interval este condiționată de necesitatea ca materialul să fie suficient de plastic, iar limita inferioară este determinată, în principal, de temperatura de recristalizare, în corelație cu viteza de deformare. Prin recristalizare, structura tinde să revină la normal, cu orientare diferită a grăunților și cu proprietăți de plasticitate corespunzătoare. Încălzirea aliajelor metalice contribuie la ușurarea prelucrării lor prin deformare, întrucât rezistența oțelului scade odată cu creșterea temperaturii, iar deformabilitatea se mărește proporțional cu temperatura. La temperaturile la care are loc deformarea la cald, rezistența la deformare este mai mică de 10-12 ori, în comparație cu rezistența aceluiași material la temperatura ambiantă.

Fontele nu se pot prelucra. Ele au o structură eterogenă, cu un procent ridicat de cementită secundară și primară grosolană și de incluziuni ce reduc complet plasticitatea masei metalice de bază, de natură austenitică, și, implicit, posibilitatea modelării plastice a acestor aliaje.

La cald, oțelurile au o structură austenitică, cu aspect de soluție solidă omogenă, formată unitar din celule cubice cu fețe centrate (CFC), care prezintă cel mai mare număr de sisteme de alunecare, deci plasticitate optimă. Influența căldurii reduce coeziunea interatomică a rețelei cristaline și, ca urmare, rezistența de deformare.

La forjarea oțelurilor, regimul termic este determinat de intervalul de prelucrare stabilit pe baza diagramei fier-carbon. Se pot prelucra atât oțelurile hipoeutectoide, cât și cele hipereutectoide (Fig. 2.28).

Pentru oțelurile de construcție, intervalul de prelucrare este cuprins între 1150 și 800 °C, iar pentru cele de scule, între 1100 și 850 °C.

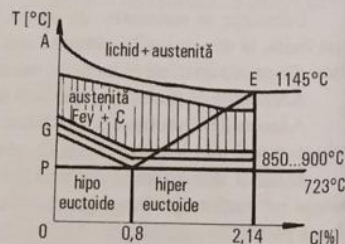


Fig. 2.28. Regimul termic recomandat pentru prelucrarea prin forjare la oțel.

### Defomarea plastică prin forjare

În funcție de temperatura la care este încălzit, oțelul prezintă diferite culori: la 700 °C este roșu-închis; la 750 °C este roșu-cireșiu; la 850 °C este roșu-deschis; la 900 °C este roșu strălucitor; la 1000 °C este galben-deschis; la 1200 °C este galben-alb; la 1300 °C este alb.

### Controlul calității semifabricatelor

Controlul calității semifabricatelor supuse forjării se realizează pe tot parcursul operațiilor de pregătire, dar și la sfârșitul fiecărei etape.

Dacă procesul de forjare nu este controlat riguros, pot apărea următoarele fenomene nedorite: **Oxidarea** – constă în formarea de oxizi pe suprafața semifabricatului, în special la temperaturi de peste 700 °C, când viteza de oxidare crește puternic. Fenomenul de oxidare are ca efect pierderi însemnate de metal în timpul încălzirii. Pentru a evita apariția acestui defect, în cuptorul de încălzire trebuie să fie o atmosferă controlată și neutră.

**Decarburarea** – constă în eliminarea carbonului de pe suprafața semifabricatului, sub formă de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, micșorarea durității la suprafața semifabricatului.

**Supraîncălzirea** – determină creșterea grăunților cristalini și este cauzată de temperatura prea ridicată și de o menținere îndelungată în cuptor. Astfel, se micșorează proprietățile mecanice, în special tenacitatea. Pentru a elimina efectul supraîncălzirii, semifabricatele se supun unui tratament de normalizare, la o temperatură de peste 900°C, cu menținere de scurtă durată.

**Arderea metalului** – are loc atunci când încălzirea semifabricatelor se realizează la temperaturi apropiate de cea de topire sau când se mențin mult timp la temperaturi înalte. În acest fel, oxigenul pătrunde în material și formează o rețea de oxizi la limita grăunțului cristalin, provocând întreruperea continuității masei metalice, materialul devenind fragil. Astfel, materialul este iremediabil.

Aceste fenomene pot fi evitate respectând regimul termic de încălzire a semifabricatelor și controlând atmosfera din cuptorul de încălzire. Pentru măsurarea temperaturii se folosesc termocuplurile.

### Dispozitive pentru măsurat și controlat

În timpul forjării, se folosesc o serie de dispozitive de măsurat și controlat, de construcție simplă, pentru verificarea dimensiunilor și a formei piesei forjate.

Pentru măsurarea secțiunilor transversale, a lungimilor și a unghiurilor, se folosesc:

- compasul simplu, compasul dublu, compasul triplu și compasul de interior, care servesc la măsurarea alezajelor sau a degajărilor din piesă;
- rigla metalică gradată sau metrul metalic, pentru măsurarea lungimilor;
- echerul, pentru verificarea unghiurilor;
- șabloanele, pentru verificarea formelor complexe;
- șublerile, pentru măsurarea cu o precizie mai ridicată a pieselor.

Pentru verificarea structurii, se folosesc microscopie metalografice și se efectuează analize de laborator.

O atenție sporită trebuie acordată măsurării temperaturii din cuptoarele de încălzire a semifabricatelor, deoarece pot apărea o serie de fenomene nedorite.

În timpul procesului de încălzire a semifabricatelor la temperaturi ridicate, prin contactul cu gazele arse, care conțin oxigen, bioxid de carbon, vapori de apă etc., apar, în cazul oțelului, fenomenele de oxidare, de decarburare, de supraîncălzire și de ardere.

### 2.2.2. Forjarea liberă

#### Teoria forjării

Se consideră un element de volum de forma unui cub și se supune la forjare (Fig. 2.29).

Elementul de volum este în echilibru atâta timp cât există același raport între forțele de coeziune ale edificiului cristalin. Dacă acest cub este supus la o deformare prin turtire, prin măsurători se constată că, cu cât cubul se micșorează în înălțime, cu atât se măresc cele două dimensiuni din planul orizontal.

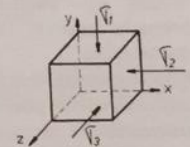


Fig. 2.29. Tensiunile la care este supus elementul de volum din piesa forjată.

Se notează cu  $\delta_1$  deformarea în direcția înălțimii (reducerea), cu  $\delta_2$  alungirea în direcția lungimii (alungirea) și cu  $\delta_3$  alungirea în direcția lățimii (lățirea). În cazul cubului considerat:  $\delta_1 = \delta_2 + \delta_3$   
 Legea fundamentală a deformației plastice se exprimă prin relația:  $\Delta h/h_0 - \Delta l/l_0 - \Delta b/b_0 = 0$   
 $\delta_1 - \delta_2 - \delta_3 = 0$

unde:  
 $-\Delta h, \Delta l, \Delta b$  - variațiile reducerii, ale alungirii și ale lățirii pe cele trei direcții;  $h, l, b$  - înălțimea, lungimea și lățimea după forjare;  $h_0, l_0, b_0$  - înălțimea, lungimea și lățimea înainte de prelucrare;  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  - deformațiile principale.

**Structura pieselor forjate**

În jurul punctului de aplicare a efortului de deformare, edificiul cristalin al piesei se deformează, având forma unui con, numit *con de deformare* (Fig. 2.30).

Mărimea conului de deformare depinde de: suprafața de lucru a ciocanului; valoarea efortului mecanic la deformare; rezistența la deformare a materialului; viteza de deformare.

Ca urmare a întrepătrunderii conurilor de deformare, după recristalizare rezultă o structură mai fină și mai uniformă decât cea inițială. Recristalizarea pe întreaga secțiune a piesei depinde, în cea mai mare măsură, de viteza de deformare. Cu cât viteza de deformare este mai mare, cu atât deformarea în secțiune este mai neuniformă, conurile de deformare nu se întrepătrund, structura este neomogenă și piesa posedă o stare de tensiuni remanente necorespunzătoare.

Pe lângă o structură mai fină și uniformă, datorită procesului de recristalizare, mai are loc și o orientare fibroasă a edificiului cristalin astfel deformat, care urmărește forma geometrică a piesei. În figura 2.31, este reprezentată o structură nesatisfăcătoare (a), obținută prin turnare și prelucrată prin așchiere, și o structură bună (b), obținută prin forjare, în care fibrele rezultate din forjare urmăresc configurația piesei.

Formarea unei structuri fibroase continue, care urmărește conturul piesei, prezintă avantajul unei rezistențe mai ridicate a piesei în timpul funcționării, datorită unei orientări favorabile a structurii, față de sensul tensiunilor normale și tangențiale dezvoltate în piesă.

**Tehnologia forjării libere**

Operațiile de forjare liberă sunt: refularea, întinderea, găurirea, îndoirea, tăierea (retezarea), răscucirea, sudarea.

**Refularea** este operația prin care se micșorează înălțimea inițială  $h_0$  a semifabricatului, mărindu-se diametrul secțiunii transversale  $d_0$  (Fig. 2.32). Numărul de faze necesare pentru a obține piesa depinde de materialul cerut și de dimensiunile capului de refulare.

În funcție de raportul  $\frac{h}{d}$ , se poate ajunge la maximum 5 faze de refulare.

Se va evita refularea completă a unei piese, dacă  $\frac{h}{d} > 2,5$ , spre a înălțura efectul de flambare.

Notații:  $h_0$  - înălțimea semifabricatului inițial;  $d_0$  - diametrul semifabricatului inițial;  $h_1$  - înălțimea piesei după refulare;  $d_1$  - diametrul piesei după refulare.

Prin refulare, se obțin piese cu secțiune mare și înălțime mică, cum sunt: flanșele, discurile, pinioanele, discurile perforate.

**Întinderea** este operația de mărire a lungimii semifabricatului și de reducere a secțiunii transversale la diferite profiluri (Fig. 2.33). Se poate realiza fie prin rotirea semifabricatului cu 90° după fiecare lovitură, fie prin rotirea în spirală, în funcție de deformabilitatea materialului.

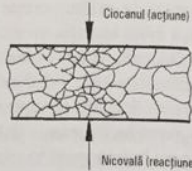


Fig. 2.30. Conul de deformare la forjarea liberă.

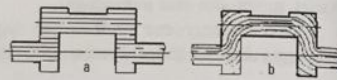


Fig. 2.31. Direcția fibrelor în cazul prelucrării unui arbore cotit: a - prin așchiere; b - prin deformare plastică.

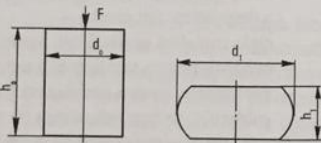


Fig. 2.32. Schema operației de refulare a unui semifabricat ( $h_1 < h_0$ ;  $d_1 > d_0$ ).

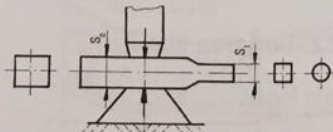


Fig. 2.33. Schema de principiu a operației de întindere prin forjare.

Aplicațiile operației de întindere sunt multiple: forjarea pieselor tubulare lungi, forjarea pe dom a inelelor cu diametru mare (Fig. 2.34).

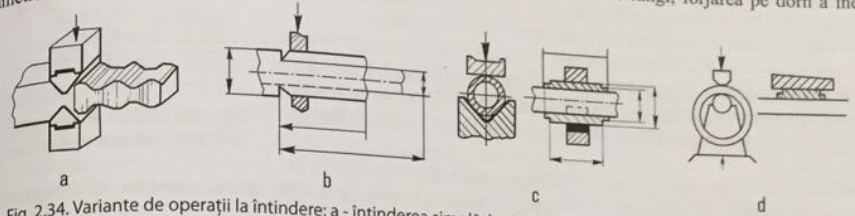


Fig. 2.34. Variante de operații la întindere: a - întinderea simplă; b - întinderea profilată; c - întinderea pe dom a pieselor tubulare lungi; d - lărgirea pe dom a inelelor cu diametru mare.

Întinderea se folosește și ca operație preliminară la obținerea pieselor matrițate de dimensiuni mari.

**Găurirea** este operația de forjare prin care, într-un semifabricat, se obține un gol, cu ajutorul unui dom (Fig. 2.35) sau a unui perforator tubular (Fig. 2.36). Găurile executate pot fi pătrunse sau nepătrunse. Este mai productiv ca piesele prevăzute cu găuri cu diametrul mai mare de 400 mm să fie în prealabil găurite prin forjare și apoi finisate prin

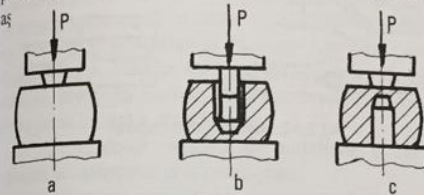


Fig. 2.35. Găurirea cu ajutorul domului: a - pregătirea; b - găurirea pe o parte; c - găurirea străpunsă.

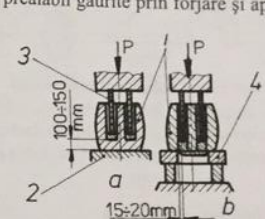


Fig. 2.36. Găurirea cu ajutorul perforatorului tubular: a - găurirea fără străpungere; b - străpungerea găurii; 1 - semifabricat; 2 - masa preseii; 3 - perforator tubular; 4 - inel de perforare.

Semifabricatele de înălțime mică ( $h < 0,5 d$ , unde  $h$  este înălțimea semifabricatului, iar  $d$  este diametrul găurii) se găuresc pe o singură parte, pe un inel-suport.

În schimb, semifabricatele cu înălțimi mai mari se găuresc din ambele părți.

**Îndoirea** este operația de forjare prin care se dă semifabricatului o formă curbă, după un anumit contur, în vederea obținerii, directe sau în combinație cu alte operații, a diferite piese, de formă îndoită. Materialul este deformat prin curbarea secțiunii transversale.

Îndoirea are loc cu modificări de secțiune. Secțiunea transversală a semifabricatului se modifică subțindu-se la exteriorul îndoirii și îngroșându-se la interiorul ei (Fig. 2.37). Îndoirea efectuată în matriță înlătură acest neajuns.

**Tăierea** este operația de detașare a unei părți din piesa forjată. Se desprind astfel bavurile, retasurile, maselotele și se crestează în lungime semifabricatele (Fig. 2.38 și Fig. 2.39). Pentru debitarea semifabricatelor de secțiune rotundă se aplică metoda de debitare din două direcții, în cazul în care  $d < 100$  mm, și din trei direcții, în cazul în care  $d > 100$  mm.

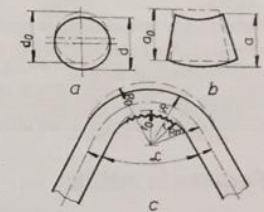


Fig. 2.37. Modificarea dimensiunilor semifabricatului supus îndoirii prin forjare: a - modificarea formei; b - modificarea secțiunii; c - semifabricatul obținut.

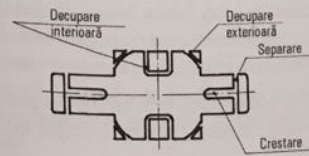


Fig. 2.38. Schema de principiu a tăierii prin forjare.

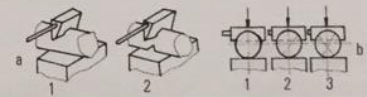


Fig. 2.39. Metode de debitare a secțiunii rotunde: a - din două direcții; b - din trei direcții; 1, 2, 3, ordinea de realizare a tehnologiei de debitare.

**Răscucirea** este operația prin care o porțiune a unei piese este rotită în jurul axei sale, față de o altă porțiune a aceleiași piese, care rămâne fixă. Se aplică la semifabricatele cu secțiune uniformă sau la piesele cu profiluri speciale.

Se pot da ca exemple burghiile spirale și arborii cotiți, cu manetoanele decalate la unghiuri diferite unul față de celălalt (Fig. 2.40 și Fig. 2.41).

Înainte operației de răscucire a arborelui cotit (Fig. 2.41. a), manetoanele I, II, III se află în poziție liniară (Fig. 2.41. b), iar după răscucire sunt decalate la  $120^\circ$  (Fig. 2.41. c).

**Sudarea** prin forjare este operația de îmbinare cap la cap a două piese, în anumite condiții de presare sau lovire cu ciocanul. Se execută la cald, favorizând astfel îmbinarea, adică restabilirea coeziunii metalului (Fig. 2.42).

Îmbinarea este nesigură din cauza impurităților inerente de lucru și, mai ales, din cauza oxidării.

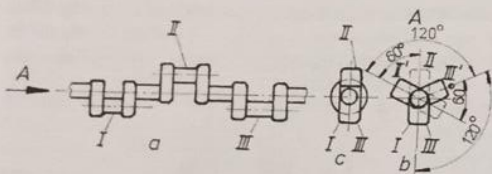


Fig. 2.41. Execuția răscucirii prin forjare a unui arbore cotit: a - sudarea în unghi la  $30^\circ$ ; b - sudarea în pană; c - sudarea cap la cap.

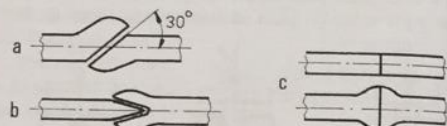


Fig. 2.42. Sudarea prin forjare.

### Prescripții tehnologice la forjare

Operațiile care se aplică la forjarea unei piese se desfășoară în următoarea succesiune:

- ▶ debitarea semifabricatului la lungime, de regulă cu un fierăstrău mecanic;
- ▶ încălzirea în cuptoare, de preferat în cele cu propulsie, pentru asigurarea controlului riguros al regimului termic;
- ▶ menținerea temperaturii de egalizare pe toată secțiunea semifabricatului;
- ▶ forjarea liberă (sau în matriță);
- ▶ controlul piesei forjate.

Stabilirea unei tehnologii corecte de forjare duce la execuția pieselor cu un consum minim de material, energie și manoperă de forjare și de prelucrare ulterioară prin așchiere.

### 2.2.3. Forjarea în matrițe

**Matrițarea** este procedeul de prelucrare prin deformare plastică la cald, cu ajutorul unor scule numite *matrițe*, care limitează și dirijează curgerea plastică a materialului.

Metoda prezintă o serie de **avantaje** față de forjarea liberă, și anume: posibilitatea obținerii unor piese de complexitate și diversitate mare, cu o precizie ridicată, cu consum specific de metal scăzut, cu productivitate ridicată, cu manoperă de prelucrare prin așchiere scăzută. În plus, caracteristicile fizico-mecanice ale pieselor matrițate sunt superioare, datorită faptului că la matrițare se obțin un fibraj continuu și o orientare corespunzătoare. Totuși, extinderea operației este limitată de costul ridicat al matrițelor, de necesitatea dotării cu utilaje specializate și de greutatea pieselor matrițate.

### Tehnologia matrițării

Procesul matrițării constă în deformarea combinată în cavitatea matriței a metalului, prin refulare și prin întindere. Temperatura la care este încălzit metalul asigură curgerea plastică în condiții optime, pentru a umple cât mai bine cavitatea matriței.

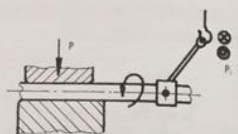


Fig. 2.40. Schema de principiu a operației de răscucire prin forjare.

### Defomarea plastică prin forjare

În funcție de utilajul pe care se montează, matrițele se pot clasifica astfel:

- matrițe pentru ciocane;
- matrițe pentru prese;
- matrițe pentru mașini de forjat.

În timpul lucrului, din cauza forțelor mari și a temperaturilor înalte, matrițele sunt supuse la solicitări importante. De aceea, oțelurile folosite pentru executarea lor trebuie să fie rezistente la uzură, să aibă o bună conductibilitate termică și să-și mențină aceste proprietăți la temperaturile de lucru. Matrițele se construiesc din oțeluri aliate cu crom, nichel și molibden. Prolungirea duratei de funcționare a unei matrițe se realizează prin: controlul riguros al temperaturii de matrițare; preîncălzirea matriței înainte de lucru; lubrifiere adecvată; îndepărtarea oxizilor și îmbunătățirea proiectării.

În principiu, o matriță (Fig. 2.43) este formată din două părți demontabile (1, 2), prin suprapunerea cărora rezultă o cavitate care redă negativul piesei de prelucrat (3).

Pentru asigurarea execuției pieselor matrițate (4) la dimensiunile din desen se prevăd o serie de adaosuri tehnologice, cum sunt: bavura (5), adaosul pentru capul de clește și adaosul pentru ardere. De asemenea, se va ține cont și de operațiile ulterioare matrițării, prevăzându-se adaosuri de prelucrare. Piesele sunt prevăzute cu raze de racordare, pentru a ușura curgerea metalului în matriță și pentru a înlătura pericolul formării fisurilor. Înclinările pereților matriței asigură umplerea cavității, reducerea solicitărilor și extragerea ușoară a pieselor.

Există **două variante de matrițare**, și anume: matrițarea prin presare și matrițarea prin poansonare.

**Matrițarea prin presare** este procedeul cu cea mai largă aplicabilitate. Se supun matrițării semifabricatele laminate cu secțiune pătrată sau rotundă, având latura și, respectiv, diametrul cu dimensiuni cuprinse între 20 și 60 mm, care se pot prelucra în matrițe formate din două părți demontabile, prin refulare și întindere.

**Matrițarea prin poansonare** se aplică în cazul corpurilor de proiectil care sunt piese prevăzute cu o cavitate cilindrică sau conică (Fig. 2.44).

Semifabricatul brut are o formă pătrată. Sub acțiunea poansonului (1), semifabricatul (2) va fi obligat să ia forma cavității matriței (3). După prelucrare, proiectilul va avea o structură uniformă și fină. Forța de presare necesară realizării deformării plastice a semifabricatului se calculează prin relația:  $F = KA\sigma$  [N], unde:

- $\sigma$  este efortul unitar de deformare la matrițarea prin poansonare [N/mm<sup>2</sup>];
- $A$  este secțiunea semifabricatului înaintea deformării [mm<sup>2</sup>];
- $K$  este coeficientul de multiplicare, dat de corelația dintre factorii specifici matrițării prin poansonare: tensiuni de frecare, tensiuni ce se dezvoltă în material (întindere, comprimare), tensiuni tangențiale de deformare plastică. Se calculează cu relația:

$$K = \left(1 + \frac{\mu d}{3h}\right) \left(1 + 1,15 \ln \frac{D}{d}\right)$$

unde:

- $d$  este diametrul piesei după matrițare [mm];
- $D$  este diametrul semifabricatului [mm];
- $h$  este înălțimea proiectilului după matrițare [mm];
- $\mu = 0,35-0,45$  este coeficientul de frecare la temperaturi de 600-1100 °C.

Cu ajutorul acestor relații, se pot verifica forța de deformare și caracteristicile utilajului folosit pentru prelucrarea proiectilelor.

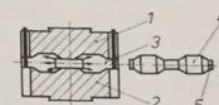


Fig. 2.43. Schema de principiu a operației de matrițare: 1 - semimatrița superioară; 2 - semimatrița inferioară; 3 - negativul piesei de prelucrat; 4 - piesa matrițată; 5 - bavură.

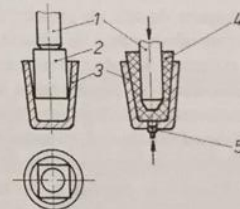


Fig. 2.44. Matrițarea prin poansonare a unui corp de proiectil: 1 - poanson; 2 - semifabricat cu secțiune pătrată; 3 - matriță; 4 - corp proiectil; 5 - extractor.

## Tehnologia extrudării

Un alt procedeu de forjare în matrice este **extrudarea**.

Este operația de deformare plastică prin care materialul este obligat, sub acțiunea presiunii, să curgă printr-o matrice, astfel încât secțiunea lui transversală să fie micșorată. Se deosebește de matrijare prin condițiile de lucru specifice: viteză mare de deformare (peste 10 m/s) și presiune specifică mare (între 200–4000 daN/mm<sup>2</sup>).

Extrudarea este un proces de deformare intensivă, în care intervin tensiuni de comprimare și de frecare foarte ridicate, ceea ce impune folosirea anumitor utilaje de mare putere, precum și măsuri tehnologice deosebite. Prezintă avantajul obținerii pieselor printr-o singură operație, cu un consum specific scăzut de material și cu grade mari de deformare.

Prin acest procedeu, pot fi realizate produse profilate prevăzute cu cavități interioare (tuburi, țevi), cu precizie dimensională ridicată, cu o înaltă calitate a suprafeței și cu o productivitate ridicată.

Se pot prelucra piese feroase și neferoase, cu forme foarte apropiate de cele ale pieselor finite. Prin extrudare se pot obține tuburi-cartuș de artilerie, de calibru mijlociu și mare, și camere de ardere la motoarele-rachetă.

Extrudarea se poate realiza la cald sau la rece. Prelucrarea la cald se aplică pentru obținerea semifabricate sau de produse finite, în timp ce prelucrarea la rece se aplică doar pentru fabricarea produselor finite.

În funcție de direcția și de sensul de curgere a materialului în timpul prelucrării, se cunosc trei variante tehnologice: *extrudarea directă*, *extrudarea inversă* și *extrudarea combinată* (Fig. 2.45).

În deformarea materialului la extrudare se disting următoarele etape:

- ▶ *etapa I*, în care semifabricatul este presat până ce umple cavitatea matriței (Fig. 2.46 a);
- ▶ *etapa II*, care marchează începerea procesului de extrudare propriu-zis (Fig. 2.46 b);
- ▶ *etapa III*, în care prin orificiul matriței iese produsul extrudat, iar înălțimea materialului din matriță începe să se micșoreze (Fig. 2.46 c);
- ▶ *etapa IV*, în care continuă să scadă înălțimea materialului inițial, pe măsura transformării lui în produs finit.

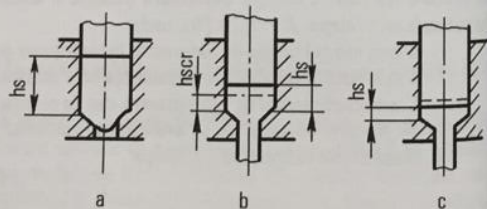


Fig. 2.46. Stadiile de deformare la extrudare directă.

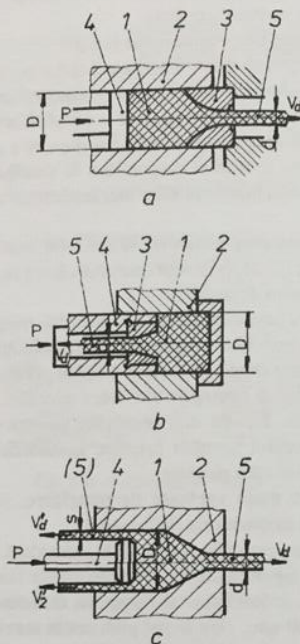


Fig. 2.45. Scheme de principiu la extrudare: 1 - semifabricatul inițial; 2 - camera de presare; 3 - matrița; 4 - piston (poanson); 5 - piesa obținută prin extrudare; a - extrudare directă; b - extrudare indirectă; c - extrudare combinată.

## 2.3. ECHIPAMENTE, UTILAJE ȘI SDV-URI SPECIFICE OPERAȚIEI DE FORJARE

## 2.3.1. Cuptoare de încălzire

Pentru a ușura prelucrarea prin deformare plastică, materialele metalice se supun încălzirii, care are ca efect micșorarea rezistenței la deformare și creșterea deformabilității. Încălzirea materialelor metalice se realizează în instalații de încălzire. Acestea se împart în:

- *cuptoare de încălzire*;
- *instalații de încălzire electrică, prin contact sau prin inducție*.

După natura combustibilului folosit, cuptoarele de încălzire se clasifică în:

- *cuptoare de încălzire cu flacără*, care folosesc combustibili lichizi sau gazoși;
- *cuptoare electrice*, care utilizează efectul termic al energiei electrice.

După distribuția temperaturii în spațiul de încălzire, cuptoarele pot fi:

- *cu funcționare discontinuă (cu cameră)*, la care temperatura este constantă în tot spațiul de încălzire;
- *cu funcționare continuă (cu propulsie sau cu vatră rotativă)*, la care temperatura din spațiul de lucru crește de la locul de încălzire a materialului spre locul de descărcare.

**Cuptoarele de încălzire cu flacără** înregistrează pierderi însemnate de căldură, datorate gazelor evacuate, fapt care duce la un randament scăzut al cuptorului. Construcțiile recente de cuptoare cu flacără sunt prevăzute cu recuperatoare pentru preîncălzirea aerului (la 800–850 °C). Folosirea recuperatoarelor mărește randamentul cuptoarelor tip cameră cu 10%, iar pe cel al cuptoarelor cu propulsie, cu până la 40%.

Încălzirea metalului în cuptoarele cu flacără se realizează prin contactul direct al metalului cu gazele fierbinți.

**Cuptorul cu funcționare discontinuă** (Fig. 2.47) este folosit la încălzirea unor semifabricate de dimensiuni mici și mijlocii.

În figura 2.48 este reprezentat un *cuptor cu vatră mobilă*, folosit la încălzirea unor semifabricate de dimensiuni mari sau a lingourilor. La aceste cuptoare, piesele se încarcă pe vatra mobilă, în afara cuptorului.

**Cuptoarele cu funcționare continuă (cu propulsie)** se folosesc la încălzirea lingourilor pentru forjare (Fig. 2.49) și au spațiul de încălzire de formă alungită, împărțit în trei zone:

- zona de preîncălzire;
- zona de încălzire propriu-zisă;
- zona de menținere (de egalizare a temperaturii pe secțiunea piesei).

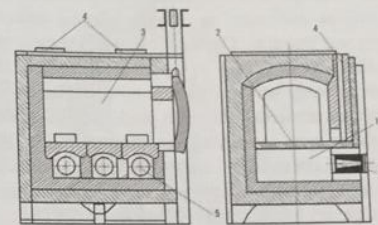


Fig. 2.47. Cuptor cu cameră cu funcționare discontinuă: 1 - cameră de ardere; 2 - vatră; 3 - cameră de lucru; 4 - canale pentru gazele arse; 5 - injectoare.

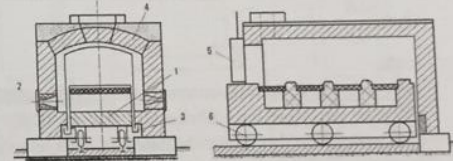


Fig. 2.48. Cuptor cu vatră mobilă: 1 - vatră mobilă; 2 - arzătoare; 3 - sistem de etanșare cu jgheaburi de nisip; 4 - boltă; 5 - ușă; 6 - role pentru deplasarea vetrei.

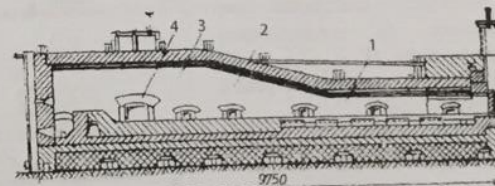


Fig. 2.49. Cuptor cu funcționare continuă (cu propulsie): 1 - zona de preîncălzire; 2 - zona de încălzire propriu-zisă; 3 - zona de egalizare; 4 - ușă de descărcare.

În zona de preîncălzire, temperatura de intrare este de 500–600 °C și crește la 900 °C–1000 °C, iar în zona de încălzire, temperatura atinge 1300 °C.

**Cuptoarele electrice** se folosesc, îndeosebi, la încălzirea oțelurilor aliate, a oțelurilor pentru scule, precum și a metalelor și a aliajelor neferoase, la care limitele de temperatură la încălzire sunt restrânse. Cuptoarele sunt prevăzute cu rezistențe de încălzire ce se fixează în suporturi din material refractar, montate pe pereții laterali, uneori pe boltă și sub vatră. În aceste cuptoare, transmiterea căldurii la piesă se datorează încălzirii rezistențelor, care se execută din aliaje metalice (Ni-Cr-Te; Te-Cr-Al) sau din materiale nemetalice (carbură de siliciu).

Instalațiile de încălzire prin inducție și cu rezistență se folosesc pentru încălzirea semifabricatelor din aliaje neferoase și din oțeluri, cu secțiune rotundă sau pătrată.

Instalația de încălzire prin inducție, alimentată cu curent electric la frecvența obișnuită, de 50 Hz, sau la frecvențe înalte, de la un generator, este reprezentată în figura 2.50. La încălzirea prin inducție, sub acțiunea câmpului electric, semifabricatul se încălzește întâi la exterior, de unde căldura se transmite spre interior. Tensiunile termice la încălzire sunt periculoase la oțelurile cu conținut scăzut de carbon, datorită plasticității ridicate. În schimb, oțelurile cu conținut de carbon ridicat și oțelurile aliate, având o plasticitate redusă la temperaturi joase, de până la 550 °C, sunt sensibile la apariția fisurilor.

În timpul procesului de încălzire, mai ales la piesele groase, apar diferențe majore de temperatură între suprafața și miezul materialului.

Pentru a aprecia diferențele mari de temperatură dintre suprafața și zona centrală a semifabricatului sau a lingoului, se poate folosi *Criteriul Biot (Bi)*, exprimat prin formula:

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$$

unde:

$\alpha$  – coeficientul de transmitere a căldurii prin radiație și convecție;

$R$  – raza sau latura semifabricatului încălzit, în m;

$\lambda$  – coeficientul de conductibilitate termică a intervalului, în kcal/m h°C.

Potrivit criteriului Biot, dacă  $Bi < 0,25$ , atunci încălzirea se va realiza într-o singură etapă, iar dacă  $Bi > 0,25$ , atunci semifabricatele se vor încălzi în mai multe etape.

*Durata totală de încălzire* a semifabricatelor se poate determina cu formula:

$$\tau = k_1 K D \sqrt{D}$$

unde:

$k_1$  – coeficientul care depinde de așezarea pieselor în cuptor (Fig. 2.51);

$K$  – coeficientul care depinde de conductivitatea materialului ( $K = 12,5$  pentru oțeluri nealiate,  $K = 20$  pentru oțeluri aliate);

$D$  – dimensiunea maximă a secțiunii transversale, în m.

Așezarea pieselor de secțiune rotundă	$K_1$ Coeficient de corecție	Așezarea pieselor de secțiune pătrată	$K_1$ Coeficient de corecție
a	1	f	1
b	1	g	1,4
c	2	h	4
d	1,4	i	2,2
e	1,3	j	?
			1,5

Fig. 2.51. Modul de așezare a semifabricatelor în cuptor.

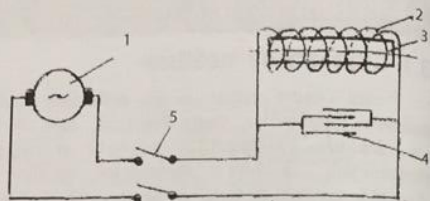


Fig. 2.50. Instalația de încălzire prin inducție: 1 - generator; 2 - inductor; 3 - piesă; 4 - condensator; 5 - întrerupător.

### 2.3.2. Utilaje folosite la forjarea liberă

Cele mai cunoscute utilaje folosite la forjarea liberă sunt **ciocanele de forjare** și **presele de forjare**.

#### Ciocanele de forjare

Ciocanele de forjare sunt folosite la producția de serie mică sau mijlocie și pot fi: vapopneumatice, pneumatice și mecanice.

• **Ciocanele vapopneumatice** (Fig. 2.52) sunt acționate cu abur sau cu aer comprimat, la presiuni de 0,7–0,9 MN/m<sup>2</sup>.

Principiul de funcționare a unui ciocan vapopneumatic rezultă din figura 2.52. Aburul sau aerul comprimat furnizat de o stație centrală este adus prin conductă (1) în camera de distribuție (2), de unde, prin intermediul sertărașului (3) și al canalului (4), pătrunde în cilindru (5), sub piston (6); în această situație, are loc ridicarea pistonului împreună cu tija (9), cu berbecul (10) și cu nicovala superioară (11). Nicovala inferioară (12) este montată în șabotă (13), fixată în fundație (14). La ridicarea pistonului, aburul sau aerul care se află în cilindru de la cursa precedentă este evacuat prin canalul (7) și conducta (8). Comanda ciocanului se realizează cu ajutorul pârghiilor (15).

Regimul de lucru al unui ciocan vapopneumatic constă în patru etape: lovituri cu energie variată; cursa de ridicare a berbecului; menținerea berbecului în poziția suspendată; cursa de coborâre a berbecului.

Caracteristicile ciocanelor vapopneumatice pot varia în funcție de:

- numărul de coloane (una sau două);
- cursa berbecului (200–2.500 mm);
- greutatea părților mobile (berbecul, tija, pistonul și nicovala superioară), între 75 și 10.000 daN;
- numărul de lovituri pe minut (între 50 și 300);
- energia de impact (între 100 și 25.000 daJ).

În cazul ciocanelor, deformarea materialelor se realizează datorită căderii libere a părților mobile ale ciocanului. Energia cinetică a părților mobile se exprimă prin relația:

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

unde:  $m$  – masa părților mobile;  $v$  – viteza de impact a părților mobile, la căderea liberă de la înălțimea  $H$ , calculată cu relația:

$$v = \sqrt{2gH}$$

unde  $g$  – accelerația gravitațională.

Pentru a mări puterea ciocanului, este necesar să fie accelerată viteza de impact, întrucât dimensiunile ciocanului sunt limitate. Acest lucru se realizează prin acțiunea presiunii ( $p$ ) date de aburul sau de aerul comprimat asupra pistonului ciocanului.

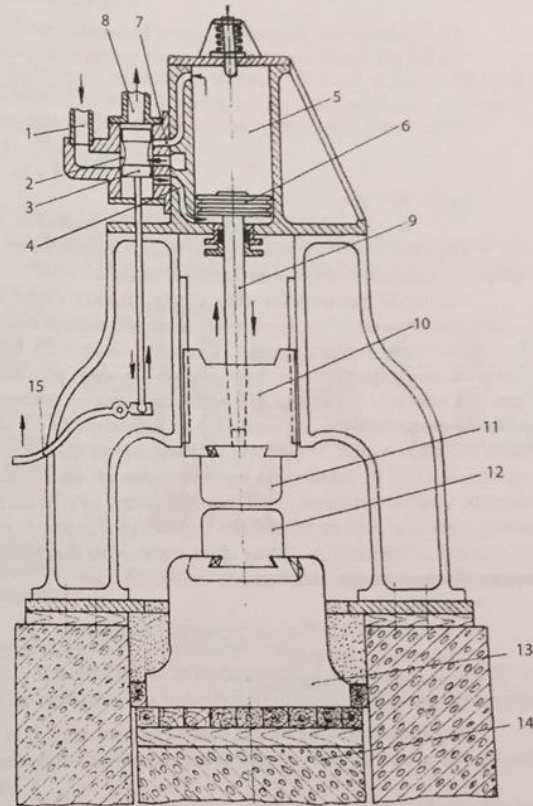


Fig. 2.52. Ciocan vapopneumatic.

În cazul unui cilindru cu diametrul  $d$ , viteza de impact va fi:

$$v = \sqrt{2 \left( g + \frac{0,25\pi d^2}{m} \right) H}$$

La ciocanele vapopneumatice, viteza berbecului este de 7-8 m/s, iar durata impactului este de aproximativ  $10^{-3}$ s. La forjare, numai o parte din energia  $E$  produce deformarea materialului, cealaltă parte fiind transmisă șabotei:

$$E = \bar{E}(1 - \eta)$$

Prin urmare, randamentul unui ciocan de forjare este:

$$\eta = \frac{M}{M + m} (1 - K^2)$$

unde:  $M$  – masa șabotei;

$K$  – coeficientul pentru oțeluri, la temperaturi de 1050 °C;  $K = 0,05-0,25$ .

Pentru ca pierderile de energie în vibrații, zgomotele etc. să fie cât mai mici, este necesar ca raportul dintre masa șabotei și a părților mobile să fie cuprins în limitele 15-20.

**Ciocanele pneumatice** (Fig. 2.53) lucrează numai cu aer comprimat furnizat de un compresor de aer din dotarea ciocanului. Prin intermediul roților dințate (2), motorul electric (1) transmite mișcarea de rotație arborelui cu manivelă (3), care, prin bielă (4), imprimă mișcarea pistonului (5), astfel că acesta se deplasează în cilindrul compresor (6). Pistonul (10) se deplasează în cilindru de lucru (9), fiind cuplat cu berbecul (11), de care se fixează nicovalea superioară (12). În canalele de legătură dintre cei doi cilindri sunt montate ventilul orizontal (7) și ventilul central (8). În funcție de poziția ventilelor față de canalele de legătură cu cilindru de lucru și cu cilindru compresor, se disting **cinci regimuri de funcționare ale ciocanului pneumatic**, și anume:

- în gol;
- cu menținerea berbecului în pozițiile suspendate;
- cu lovituri automate;
- cu lovituri individuale;
- cu lovituri de presare.

Ciocanele pneumatice intră în dotarea secțiilor de forjă, în special la atelierele care nu dispun de o unitate centrală de aer comprimat sau de abur.

### Presele de forjare

Cele mai utilizate prese folosite la forjarea pieselor grele sunt **presele hidraulice** (Fig. 2.54). Cilindru principal (1), în care se deplasează plungerul (2), este fixat de traversa superioară (3). Aceasta este legată cu traversa inferioară (5) prin două sau patru coloane (4), fixate în batiu (6).

Presiunea necesară forjării pieselor este dată de plunger (2), care pune în mișcare traversa mobilă (9) numai în cursa de lucru. Traversa mobilă poate fi ridicată cu ajutorul plungerului (8) din cilindru (7). Etanșarea cilindruului-plunger se realizează cu ajutorul unor bușe de bronz (10), numite *presetupe*. Țevile  $a$  și  $b$  servesc la admisia uleiului hydraulic.

Regimul de lucru al unei prese hidraulice de forjare poate fi împărțit în următoarele etape:

- ▶ menținerea traversei mobile în poziția „de sus”;
- ▶ coborârea lentă a traversei până când nicovalea atinge piesa;
- ▶ presarea metalului;
- ▶ cursa de ridicare a traversei.

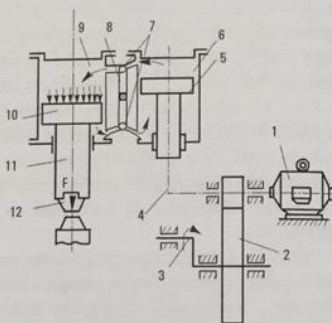


Fig. 2.53. Ciocan pneumatic – schema cinematică.

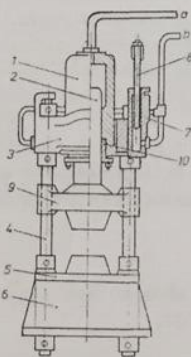


Fig. 2.54. Schema unei prese hidraulice.

Presele hidraulice se construiesc cu forțe de presare de 50-10.000 tf și chiar mai mult; cursa maximă a traversei mobile este de 800-3.500 mm; cursa maximă de lucru este de 100-300 mm, iar deschiderea dintre coloane este de 1.000-4.000 mm.

Pentru calculul forței de presare, se folosește următoarea relație:

$$P = \sigma_d S P_m \text{ [daN]},$$

unde:

$\sigma_d$  – rezistența la forjare a materialului la temperatura de lucru, exprimată în daN/mm<sup>2</sup>;  $S$  – secțiunea transversală a piesei după forjare, exprimată în mm;  $P_m$  – presiunea specifică medie ( $P_m = 1 + \mu dh$ ), unde  $\mu$  este coeficientul de frecare, iar  $d$  și  $h$  reprezintă diametrul, respectiv înălțimea produsului.

### Mașinile orizontale de forjat

Sunt destinate să efectueze următoarele operații: refularea închisă, perforarea, debitarea etc.

Schema cinematică a mașinii orizontale de forjat este reprezentată în figura 2.55. Prin intermediul roții dințate (1), se transmite mișcarea de rotație arborelui cotit (2). Mișcarea de rotație a arborelui este transformată, prin intermediul bielei (3), în mișcare de translație pentru culisorul principal (4) și, cu ajutorul unui sistem de pârghii (5), pentru culisorul lateral (6). În acest fel, semimatrița mobilă, montată pe culisorul (6) se deplasează spre semimatrița fixă (7), fapt ce permite strângerea semifabricatului în poziția stabilă.

Paralel cu deplasarea semimatriței mobile către cea fixă, are loc și cursa culisorului principal, în sensul înaintării. Acțiunea poansonului fixat în culisorul principal asupra materialului are loc după ce semifabricatul a fost blocat între semimatrițe.

Particularitatea principală a mașinilor orizontale de forjat constă în faptul că matrițele folosite au două plane de separație, perpendiculare unul pe altul, primul între semimatrițe și al doilea între semimatrițe și poanson.

Acest lucru permite obținerea unor piese cu forme complicate și cu precizie ridicată.

Mașinile orizontale de forjat se construiesc cu forțe de deformare la culisorul principal de 0,5 până la 30 MN, iar la culisorul secundar de 0,4 până la 0,6 MN. Numărul de curse pe minut poate fi între 25 și 95, iar cursa semimatriței mobile, între 60 și 350 mm.

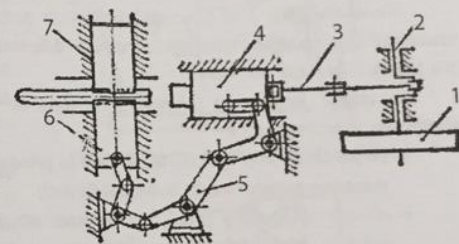


Fig. 2.55. Schema cinematică a mașinii orizontale de forjat.

### 2.3.3. Scule specifice operației de forjare

Sculele pentru forjarea liberă se pot grupa în următoarele categorii:

- **scule de bază**, cu ajutorul cărora se execută forjarea propriu-zisă;
- **scule ajutoare (auxiliare)**, cu ajutorul cărora se realizează manipularea semifabricatelor;
- **dispozitive de măsurat și controlat**.

Din categoria **sculelor de bază** fac parte: *nicovalele*, *matrițele pentru finisare*, *dălțile*, *întinzătoarele* și *dornurile*. De asemenea, se folosesc *baroase* și *ciocane*, executate din oțel forjat, cementat și îmbunătățit. Ciocanele au masa cuprinsă între 1 și 2 kg, iar baroasele, între 3 și 15 kg.

*Nicovalele* (Fig. 2.56. a, b, c) se montează pe berbecul ciocanului și pe șabotă, fixându-se prin coadă de rândunică cu pană. Aceste scule au rolul de a deforma materialul și, în funcție de operația pe care o execută, prezintă diferite forme, de exemplu:

- *nicovale plate*, care servesc la forjarea semifabricatelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară;
  - *nicovale rotunjite*, pentru întinderea materialului;
  - *nicovale profilate*, pentru întinderea barelor rotunde, hexagonale etc.
- Nicovalele se execută din oțel forjat și tratat termic.

*Matrițele mănuite manual* se folosesc pentru finisarea barelor (Fig. 2.56 d, e, f) și dau semifabricatelor întinse pe nicovală forme cilindrice sau prismatice. Se execută din oțeluri pentru construcții slab aliate.

*Dălțile de găuit* (Fig. 2.56 g, h, i, j, k) servesc la realizarea în piese de diferite forme, fiind executate din același material ca și matrițele.

*Întinzătoarele și netezitoarele* (Fig. 2.56 l, m, n, o, p) se folosesc pentru întinderea și netezirea suprafețelor; ele pot avea diferite secțiuni: pătrate, dreptunghiulare, ovale etc.

*Topoarele de tăiat la cald* (Fig. 2.56 r, s, ș, t) sunt utilizate la tăierea materialului și pot avea diferite forme, în funcție de profilul secțiunii materialului.

*Dornurile* (Fig. 2.56 ț, u, v, x) servesc la perforarea materialului, în vederea obținerii alezajelor de diferite forme și a netezirii lor după perforare.

În timpul forjării, se folosesc și o serie de *scule ajutătoare*, și anume:

- *cleștii de forjă* (Fig. 2.57 a), folosiți la prinderea și mănuirea pieselor calde, în timpul forjării;
- *cleștele de macara* (Fig. 2.57 b), care este astfel executat încât, la ridicarea cârligului macaralei, fălcile lui se închid, strângând piesa pe care o poate ridica și transporta;
- *furcile pentru răsucit* (Fig. 2.57 c), care au dimensiunile determinate de mărimea pieselor forjate;
- *manșoanele de prindere* (Fig. 2.57 d), care se folosesc la manipularea pieselor grele și a lingourilor, fiind manevrate cu macaraua;
- *dispozitivele pentru rotit piesele grele* în jurul axelor longitudinale (Fig. 2.57 e).

*Dispozitivele de măsurat și de controlat* folosite la forjare sunt de construcție simplă. Pentru măsurarea secțiunilor transversale, a lungimilor și a unghiurilor se folosesc:

- compasul simplu, dublu sau triplu și compasul de interior, care servesc la măsurarea alezajelor sau a degajărilor din piesă;
- rigla metalică gradată sau metrul metalic pentru măsurarea lungimilor;
- echerul pentru verificarea unghiurilor;
- șabloane pentru verificarea formelor complexe;
- șabloane pentru măsurarea pieselor cu o precizie mai ridicată.

## Bazele procedeelor de prelucrare la cald

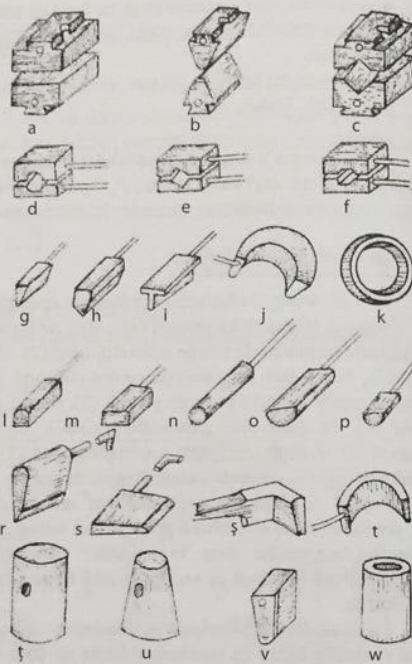


Fig. 2.56. Scule folosite la forjarea liberă.

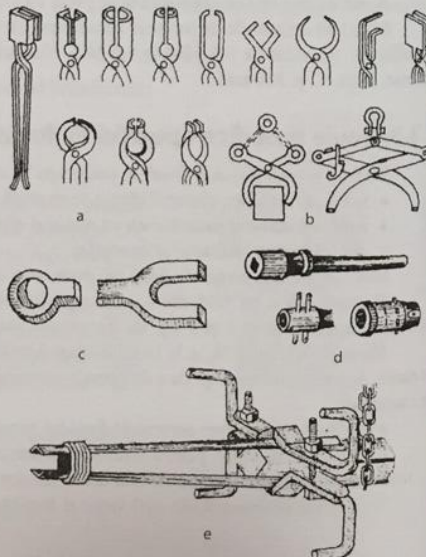


Fig. 2.57. Scule auxiliare folosite la forjarea liberă.

## Defomarea plastică prin forjare

### 2.3.4. Utilaje folosite la matrițare

Din categoria utilajelor folosite la matrițare, fac parte ciocanele de matrițare și presele sau mașinile de matrițare.

#### Ciocanele de matrițare

Pot fi cu șabotă sau fără șabotă (cu contralovitură).

• **Ciocanele de matrițare cu șabotă** (Fig. 2.58) pot fi acționate cu abur sau cu aer comprimat. Principiul de funcționare este similar cu cel al ciocanelor folosite la forjarea liberă. Deosebirile constructive constau în faptul că la ciocanele de matrițare există două coloane (1), berbecul (2) are ghidaje (3) pe toată cursa, batiul (4) face corp comun cu șabota, iar cursa berbecului este mai mare. Ciocanele de matrițare existente în prezent dezvoltă o energie de impact de 10–25.000 daJ, iar frecvența loviturilor este de 60–80 lovituri/min. Dezavantajul principal al acestor ciocane constă în faptul că necesită fundații voluminoase, care să diminueze doar în mică măsură vibrațiile puternice produse în solul și în clădirile atelierelor de matrițare.

• **Ciocanele de matrițare fără șabotă** (Fig. 2.59.) se folosesc la matrițarea pieselor care se pot obține dintr-o singură lovitură. Berbecul superior (1) este acționat cu abur, prin intermediul pistonului (2). Prin intermediul benzilor de oțel (3), care rulează pe role (4), la coborâre, pistonul antrenează berbecul inferior (5) în cursă de sens contrar, cu o viteză egală cu a sa, până la ciocnirea reciprocă. Masa berbecului inferior este ceva mai mare decât a celui superior, pentru a asigura desfacerea imediată a matrițelor, după efectuarea loviturii. Fiecare berbec face o cursă mai scurtă decât în cazul ciocanelor cu șabotă, fapt ce determină ca energia cinetică absorbită de batiu și fundație să fie mult mai mică. Aceste ciocane dezvoltă o energie de impact cuprinsă între 500 și 30.000 daJ, în cazul unei curse a celor doi berbeci între 400 și 1.200 mm.

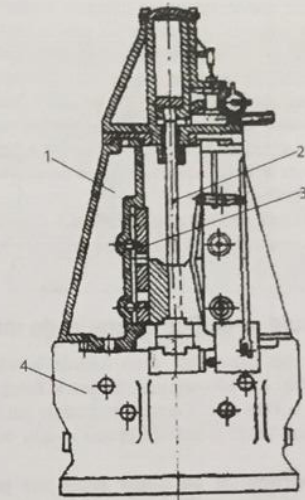


Fig. 2.58. Ciocan de matrițare cu șabotă.

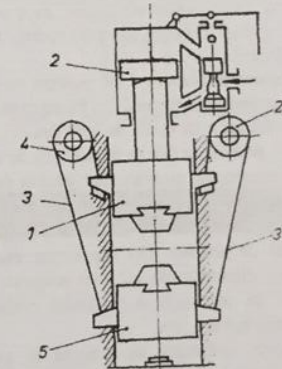


Fig. 2.59. Ciocan fără șabotă (cu contralovitură).

#### Presele folosite la matrițare

Se pot clasifica, în funcție de principiul constructiv, în prese mecanice cu manivelă și prese mecanice cu fricțiune.

• **Presele cu manivelă**, numite uzual *maxiprese*, sunt utilaje de mare productivitate și de precizie ridicată, care permit mecanizarea și automatizarea operației de introducere a semifabricatului în matriță. Presarea metalului în matrițe se realizează dintr-o singură cursă a berbecului, astfel că productivitatea maxipreselor, în comparație cu ciocanele cu abur, este mai mare cu peste 50%. Pe o maxipresă, viteza de deformare a metalului este de 0,3–0,8 m/s și scade treptat la zero, la sfârșitul operației.

Schema cinematică a unei prese cu manivelă este reprezentată în figura 2.60. Prin intermediul unei curele

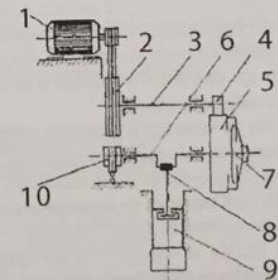


Fig. 2.60. Schema cinematică a unei maxiprese.

trapezoidale, motorul electric (1) transmite mișcarea roții (2) montate pe arborele intermediar (3), care, la capătul opus, are fixat pinionul (4). Acest pinion este angrenat cu roata dințată (5), care se rotește liber pe arborele manivelei (6). Roata (5) poate fi angrenată cu arborele manivelei (6), pe care îl pune în mișcare prin intermediul unui cuplaj (7). Biela (8) transformă mișcarea de rotație a arborelui în mișcare alternativă a berbecului (9). Pentru oprirea arborelui manivelei, după desfacerea cuplajului, se folosește frâna (10).

- **Presele cu fricțiune** transformă energia cinetică a ansamblului mobil în lucru mecanic de deformare (Fig. 2.61).

**2.3.5. Scule specifice operației de matrițare**

Cele mai importante scule folosite la matrițare sunt **matrițele** (Fig. 2.62). Acestea se clasifică, în funcție de utilajul și mașinile la care sunt folosite, în: matrițe pentru ciocane, matrițe pentru prese și matrițe pentru mașini orizontale de forjat.

- **Matrițele cu un singur locaș** sunt pentru piese simple (Fig. 2.62).
- **Matrițele cu locașuri multiple**, destinate pieselor complicate, permit efectuarea, pe aceeași matriță și din aceeași încălzire, și a unor operații premergătoare matrițării.

Elementele constructive ale matriței cu locașuri multiple sunt reprezentate în figura 2.63. Pe suprafața matriței sunt executate următoarele locașuri: de întindere (1), de rulare (2), de îndoire (3), preliminar (4), de finisare (5), de bavură (6).

Alte elemente ale matriței sunt: găurile de prindere (7), coada de rândunică (8), fețele de control ale blocurilor (9). Unele matrițe sunt prevăzute și cu coloane de ghidare.

Locașul de finisare (5) are forma exactă a piesei matrițate, însă dimensiunile lui sunt majorate cu valoarea coeficientului de contracție a metalului prelucrat, care la oțeluri este între 0,8 și 1,2%.

Locașurile ajutoare se execută în cazul pieselor matrițate cu forme complicate. Aceste locașuri au forma generală asemănătoare cu a celor de finisare, cu deosebirea că toate golurile, trecerile bruște de la o secțiune la alta, se fac cu racordări importante, astfel încât materialul să capete o formă convenabilă locașului de finisare. Locașurile ajutoare se execută cu sau fără canal de bavură și cu același plan de separație ca și cele de finisare.

Suprafața de separație a matrițelor trebuie să coincidă cu două dimensiuni maxime, perpendiculare sau în același plan, ale piesei. La piesele de forme complicate nu se respectă această regulă, însă suprafața de separație trebuie să asigure o ușoară extracție a piesei, în direcția loviturii.

Pereții laterali ai locașurilor celor două jumătăți de matrițe sunt prevăzute cu înclinări, care variază între 1 și 5°,

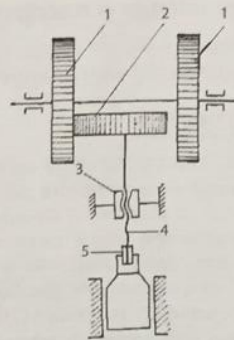


Fig. 2.61. Schema cinematică a preseii cu fricțiune: 1- discuri de fricțiune conductoare; 2- disc de fricțiune condus; 3- bucsă filetată; 4- ax filetat; 5- berbec.

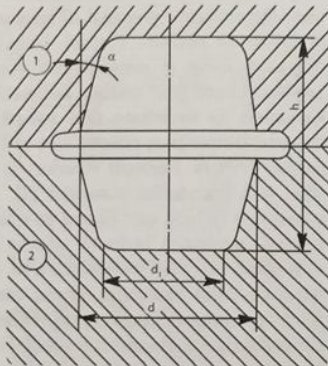


Fig. 2.62. Matrița cu un singur locaș: 1 - matrița superioară; 2 - matrița inferioară.

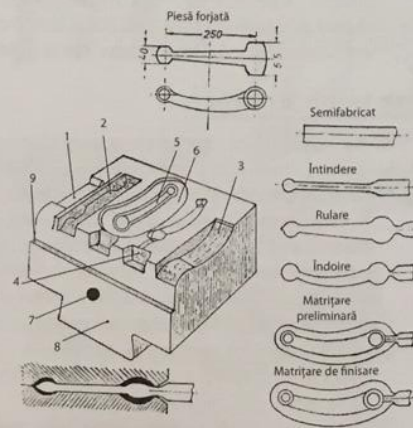


Fig. 2.63. Matriță cu locașuri multiple.

în funcție de mărimea matriței. Înclinările asigură o curgere normală a metalului și extragerea ușoară a piesei matrițate.

- **Matrițele pentru prese mecanice cu manivelă** se caracterizează prin următoarele particularități:
  - nu au locașuri pregătitoare sau ajutoare;
  - au înclinări de matrițare mai mici (1-3°), din cauza existenței extractoarelor;
  - locașul bavurii se execută deschis;
  - dacă gabaritul piesei permite, pe aceeași matriță se poate executa și debavurarea.
- **Matrița pentru maxipresă** (Fig. 2.64) cuprinde următoarele elemente constructive: suporturile (1, 2), în care se introduc adaosurile amovibile (3, 4) pentru matrițare, dacă mărimea suportului permite aceasta, coloanele de ghidare (5), extractoarele (6, 7), bolțurile (8) și bridele de fixare (9).

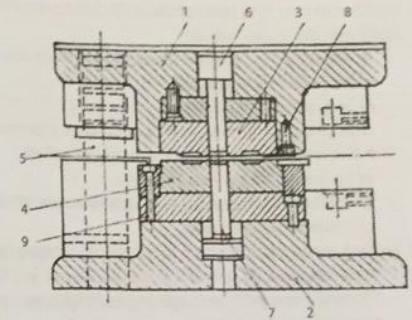


Fig. 2.64. Matriță pentru maxipresă.

În figura 2.65, este reprezentată **matrița pentru debavurare**. Aceasta prezintă următoarele părți componente:

- 1- piesa matrițată cu bavură;
- 2- poansonul de perforare;
- 3- poansonul de debavurare;
- 4- matrița;
- 5- arcul.

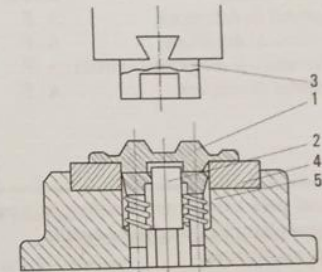


Fig. 2.65. Matriță pentru debavurare.

**TEME ȘI TESTE RECAPITULATIVE**



**1. Materiale forjabile**

1. Transcrie pe caiet enunțurile și completează spațiile libere cu cuvintele potrivite:
  - a) Deformarea plastică este o metodă de ..... a metalelor și ..... în stare ..... la cald sau la ..... sub acțiunea forțelor .....
  - b) Prin deformare plastică, materialele metalice își modifică forma și ....., fără să revină la forma .....
2. Enumeră avantajele și dezavantajele procedurii de obținere a pieselor prin deformare plastică.
3. Marchează prin săgeți corespondența dintre cele două coloane:

a) deformare plastică	1. forma și dimensiunile revin la forma inițială după îndepărtarea forței
b) deformare elastică	2. modificarea formei și a dimensiunilor se menține după îndepărtarea forței

4. Precizează care sunt mecanismele de deformare plastică.
5. Stabilește răspunsul corect:
- Alunecarea în rețelele cristaline constă în deplasarea în întregime a unei părți de cristal în raport cu altele;
    - a) pe planul de alunecare;
    - b) în direcția de alunecare;
    - c) pe planul de alunecare și în direcția de alunecare.
  - Deformarea prin maclare este favorizată de:
    - a) creșterea vitezei de deformare;
    - b) scăderea temperaturii și creșterea vitezei de deformare;
    - c) scăderea temperaturii.
6. Clasifică deformarea plastică în funcție de temperatura la care are loc deformarea.
7. Stabilește valoarea de adevăr a afirmației de mai jos, încercuind A – adevărat sau F – Fals.
- Factorii principali care influențează deformarea plastică a materialelor metalice sunt:*
- a) planul de alunecare;           A F
  - b) temperatura;                A F
  - c) gradul de deformare;        A F
  - d) viteza de deformare;        A F
  - e) structura și compoziția chimică; A F
  - f) planul de maclare.           A F

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Precizează dacă există vreo deosebire între valorile forțelor care produc deformarea elastică și cele care produc deformarea plastică a materialului metalic.
2. Definește plasticitatea.
3. Enumeră legile după care se desfășoară deformarea plastică.
4. Explică modul în care deformarea plastică influențează caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor metalice.

### LUCRĂRI DE LABORATOR

1. Prin încercări mecanice de laborator, efectuate pe epruvete din diverse metale și aliaje (Al, Cu, oțel, fontă), stabilește care dintre ele are cea mai mare plasticitate. Ordonează-le descrescător, după plasticitate.
2. Identifică din mostrele de piese prezentate de profesor pe cele obținute prin procedee de deformare plastică.
3. Precizează ce dimensiuni ale unui semifabricat se modifică în timpul deformării plastice și numește deformarea pentru fiecare dimensiune.
4. Pe figurile 2.14–2.19 din text, citește și interpretează variația rezistenței la deformare  $p$ , în funcție de coeficientul de frecare, de temperatură  $T$ , de gradul de deformare  $\epsilon$ , de înălțimea corpului supus deformării  $H$  și de unghiul  $\varphi$  pe care scula de deformare îl face cu planul orizontal.
5. Pe figurile 2.7–2.8 din text, identifică planurile de alunecare și de maclare și explică fenomenul.
6. Realizează un miniproiect cu tema: „Factorii care influențează plasticitatea”.
7. Elaborează un referat cu tema: „Legile deformării plastice”.



## 2. Procede de forjare

1. Încercuiește răspunsurile corecte:
- 1.1 Deformarea prin compresiune este un procedeu de forjare realizat prin:
- a) matrițare;
  - b) trefilare;
  - c) extrudare.
- 1.2 La calcularea lungimii semifabricatelor înainte de forjare se iau în calcul:
- a) dimensiunile piesei finite;
  - b) volumul corpurilor geometrice care intră în componența piesei;
  - c) adaosurile de prelucrare și toleranțele de forjare;
  - d) masa piesei;
  - e) adaosurile tehnologice;
  - f) adaosurile pentru epruvete de încercări mecanice, când este cazul.
2. Stabilește valoarea de adevăr a următoarelor afirmații:
- Printre operațiile de forjare liberă, se numără:
- a) refularea;                   A F
  - b) matrițarea;                A F
  - c) întinderea;                A F
  - d) răsucirea;                 A F
  - e) ambutisarea;              A F
  - f) sudarea.                    A F
3. Completează cu cuvintele potrivite spațiile libere din enunțurile de mai jos:
- a) Forjarea este procedeul de ..... prin deformare ..... a materialelor metalice la ..... sau la rece, prin lovituri ..... sau prin ....., cu ajutorul unor utilaje acționate ..... sau mecanic.
  - b) Matrițarea este ..... de prelucrare prin ..... plastică a materialelor metalice la ....., cu ajutorul unor scule numite ....., care limitează și dirijează ..... plastică a materialului.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Enumeră grupele de procedee de prelucrare prin deformare plastică, bazate pe solicitări exterioare aplicate materialelor metalice.
  2. Precizează denumirea sculelor montate pe ciocane sau pe prese, folosite la forjarea liberă.
  3. Stabilește corespondența dintre cele două coloane referitoare la temperatura de prelucrare și la marca oțelului:
- |                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| a. 1150–800 °C; | 1. oțeluri de scule;       |
| b. 1100–850 °C. | 2. oțeluri de construcții. |
4. Precizează care este răspunsul corect:
    - 4.1 Refularea este operația prin care se micșorează:
      - a) lungimea inițială a semifabricatului;
      - b) lățimea inițială a semifabricatului;
      - c) înălțimea inițială a semifabricatului.
    - 4.2 Sculele folosite la găurire sunt:
      - a) nicovală;
      - b) dorn;
      - c) perforator tubular;
      - d) inel de perforare.
  5. Precizează dimensiunile diametrelor recomandate la semifabricatele laminate, folosite la matrițarea prin presare.
  6. Explică deosebirea dintre matrițare și extrudare.
  7. Care sunt cele două variante de matrițare?
  8. Precizează etapele din cadrul procesului de extrudare.

## LUCRĂRI DE LABORATOR

1. Identifică, pe schemele prezentate de profesor, procedeele de deformare plastică.
2. Pornind de la desenele pieselor puse la dispoziție de profesor, calculează dimensiunile semifabricatelor din care s-au obținut.
3. Realizează un miniproiect cu tema „Operațiile de forjare liberă”.
4. Întocmește un referat intitulat „Influența procedeele de deformare plastică asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale pieselor obținute prin aceste procedee”.



### 3. Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice operației de forjare

1. Precizează care sunt răspunsurile corecte:  
După modul de distribuție a temperaturii în spațiul de încălzire, cuptoarele de încălzire pot fi:  
a) cu cameră; b) cu propulsie sau cu vatră rotativă;  
c) cu vatră mobilă; d) cu vatră rotativă.
2. Stabilește valoarea de adevăr a următoarelor enunțuri:
  - În cazul cuptoarelor cu propulsie, spațiul de încălzire cuprinde:
    - a) zona de preîncălzire; A F
    - b) zona de răcire; A F
    - c) zona de încălzire propriu-zisă; A F
    - d) zona de menținere. A F
3. Clasifică ciocanele de forjare folosite la producția de serie mică și mijlocie.
4. Specifică tipurile de matrițe în funcție de utilajul și mașinile la care sunt folosite.

## LUCRĂRI DE LABORATOR

1. Pe schemele oferite de profesor, identifică tipurile de cuptoare de încălzire a semifabricatelor, folosite în vederea forjării.
2. Identifică sculele de bază din laborator folosite la forjarea liberă și precizează utilitatea lor.
3. Efectuează, sub îndrumarea profesorului de specialitate, o vizită de studiu la agenții economici de profil, având ca tematică:
  - a) identificarea cuptoarelor de încălzire, a ciocanelor de forjare și a preselor de forjare;
  - b) urmărirea tehnologiei de forjare și matrițare pentru realizarea pieselor aflate pe fluxul tehnologic.
4. Întocmește un referat cu tema „Scule folosite la forjare și matrițare”.
5. Realizează un miniproiect despre etapele regimurilor de lucru la folosirea ciocanului vapo-pneumatic, a ciocanului pneumatic și a presele hidraulice, utilizând figurile 2.52., 2.57. și 2.58.

## FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Completează spațiile libere cu cuvintele potrivite sensului științific:
  - a) Pentru a ..... prelucrarea prin deformare, materialele ..... se supun ....., care are ca efect ..... rezistenței la deformare și ..... deformabilității.
  - b) Încălzirea metalului în ..... cu flacără se realizează prin ..... direct cu gazele.....
  - c) Cele mai cunoscute prese folosite la forjarea ..... grele sunt presele .....
  - d) Cuptoarele electrice se folosesc îndeosebi la ..... oțelurilor aliate, a ..... pentru scule, a metalelor și a ..... neferoase, la care limitele de temperatură la ..... sunt restrânse.

2. Clasifică cuptoarele de încălzire după natura combustibilului.
3. Care dintre categoriile de scule enumerate mai jos se folosesc la forjarea liberă?
  - a) scule de bază; b) nicovale; c) scule ajutătoare; d) cleștele de macara;
  - e) dispozitive de măsurat și controlat; f) șabloane pentru verificarea formelor complexe.
4. Realizează corespondența dintre cele două coloane.

a. nicovale rotunjite	1. servesc la întinderea barelor rotunde, hexagonale etc.
b. nicovale plate	2. servesc la întinderea materialului
c. nicovale profilate	3. servesc la forjarea semifabricatelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară

5. Încercuiește sculele enumerate mai jos care fac parte din categoria sculelor ajutătoare.
  - a) furcile pentru răsucit;
  - b) manșoanele de prindere;
  - c) matrița cu un singur locaș;
  - d) clești de forjă;
  - e) topoare de tăiat la cald.
6. Enumeră utilajele cele mai folosite la matrițare.
7. Clasifică instalațiile de încălzire a materialelor metalice.

# SUDABILITATEA

## 3.1. Definirea sudabilității

## 3.2. Clasificarea procedeelor de sudare

# 3

### COMPETENȚE ȘI DEPRINDERI

Noțiunile prezentate în acest capitol contribuie la înțelegerea fenomenelor privind:

- factorii care influențează sudabilitatea metalelor și a aliajelor;
- clasificarea procedeelor de sudare.

## 3.1. DEFINIREA SUDABILITĂȚII

### 3.1.1. Sudabilitatea metalelor și a aliajelor

#### Definirea noțiunii de sudabilitate

Aprecierea calității metalelor destinate sudării se realizează după caracteristicile mecanice determinate prin încercări curente de laborator. Astfel, în timpul sudării, metalele se comportă diferit față de condițiile normale, suferind o serie de modificări, atât în compoziția chimică, cât și în structură. Avându-se în vedere considerentele de mai sus, s-a definit o nouă proprietate a metalelor – sudabilitatea.

**Sudabilitatea** reprezintă proprietatea tehnologică a unui material, reflectată prin capacitatea acestuia de a se îmbina prin sudare, astfel încât, sub acțiunea ciclului termic de sudare, să nu-și modifice sensibil proprietățile, iar în zona de îmbinare să nu apară defecte.

#### Factori care influențează sudabilitatea

Sudabilitatea depinde de *compoziția chimică*, de *structura* și de *calitatea materialelor*. Calitatea ei este influențată de o multitudine de factori, cum ar fi: condițiile de mediu, temperatura de preîncălzire etc.

Din punct de vedere tehnologic, sudabilitatea este apreciată după două aspecte: comportarea la sudare și siguranța la sudare.

## Sudabilitatea

65

♦ **Comportarea la sudare** a unui material caracterizează posibilitatea de a realiza, printr-un procedeu oarecare, îmbinări sudate fără defecte, cu caracteristicile prevăzute.

♦ **Siguranța la sudare** indică însușirea materialului sudat de a nu-și diminua caracteristicile mecanice, datorită tehnologiei de sudare, evitând, astfel, pericolul de rupere fragilă.

Rezultă că siguranța la sudare este legată de capacitatea materialelor de a-și păstra proprietățile de plasticitate în urma procesului de sudare.

*Ruperea fragilă* se caracterizează prin distrugerea bruscă a unei construcții sudate, fără deformații prealabile, în condiții de solicitare reduse sau normale, în timpul execuției sau după o perioadă de funcționare. În majoritatea cazurilor, s-a constatat că procesul ruperii fragile depinde de formarea unor fisuri foarte fine, de propagarea și unirea fisurilor, urmate de ruperea bruscă, din cauza fragilității și a scăderii rezistenței materialului. Caracterul periculos al acestor fisuri constă în aceea că, fiind de mărime microscopică, sunt foarte greu de identificat, chiar și apelând la metodele de control nedistructiv.

Din aceste motive, siguranța la sudare a materialelor reprezintă o problemă deosebit de importantă în construcția de mașini, de ea depinzând siguranța în exploatare a asamblărilor sudate. O bună sudabilitate presupune posibilitatea realizării de îmbinări sudate fără fisuri sau alte defecte, cu alungire specifică ridicată, cu rezistență mecanică și caracteristici tehnologice apropiate de cele ale metalului de bază, cu capacitatea de a-și păstra caracteristicile în tot timpul funcționării. Trebuie accentuat faptul că defectele care se datorează unei concepții constructive necorespunzătoare, unor tehnologii de sudare nepotrivite sau unei execuții defectuoase nu pot constitui criterii negative pentru aprecierea sudabilității materialelor.

Sudabilitatea poate fi apreciată după următoarele criterii:

- comportarea metalurgică;
- comportarea tehnologică;
- comportarea în exploatare.

**1. Comportarea metalurgică la sudare** este determinată de *compoziția chimică a metalului*, dar și de *elementele însoțitoare*, de *metoda de elaborare* a oțelurilor respective și de *starea de livrare*.

Comportarea metalurgică monitorizează modificările produse asupra caracteristicilor mecanice, respectiv posibilitatea apariției unor defecte sub influența fragilității zonei sudate.

*Compoziția chimică.* Sudabilitatea aliajelor fier-carbon scade odată cu creșterea procentului de carbon (Fig. 3.1). Dacă oțelul conține până la 0,3 % carbon, iar celelalte elemente de aliere – mangan, siliciu, nichel, crom – nu depășesc în total procentul de 1%, oțelul respectiv are o sudabilitate acceptabilă.

Având în vedere rolul decisiv pe care îl are conținutul de carbon asupra sudabilității oțelurilor, au fost stabilite diferite formule în care procentul elementelor de aliere și grosimea materialului sunt echivalente cu procentul carbonului.

În modul acesta, s-a stabilit **relația carbonului echivalent** ( $C_e$ ), care exprimă aprecierea asupra sudabilității oțelului respectiv, în funcție de valorile, în procente, ale carbonului și ale elementelor de aliere, precum și de grosimea materialului de sudat ( $t$ ):

$$C_e = \% C + \% Mn/6 + \% Cr/5 + \% Ni/5 + \% Mo/4 + \% Cu/13 + \% Si/4 + \% P/2 + 0,0024 t$$

Se constată că, după carbon, fosforul are influența cea mai defavorabilă, fiind urmat de molibden, crom și mangan, în timp ce cuprul și nichelul au influențe mult mai reduse.

*Metoda de elaborare* influențează comportarea la sudare a oțelurilor, prin gradul de puritate și limitele conținutului diferitelor elemente componente. În funcție de procedeu de elaborare a materialelor metalice, sudabilitatea oțelurilor scade astfel:

- oțeluri elaborate în cuptoare electrice;
- oțeluri elaborate în cuptoare Siemens-Martin;
- oțeluri elaborate în cuptoare Siemens-Martin cu insuflare de oxigen;
- oțeluri de convertizor cu oxigen (L.D.).

*Starea de livrare* determină sudabilitatea pe baza proprietăților de plasticitate obținute prin diferite tratamente

- mecanice și termice. În funcție de acestea, sudabilitatea oțelurilor scade în următoarea ordine:
  - oțeluri normalizate;

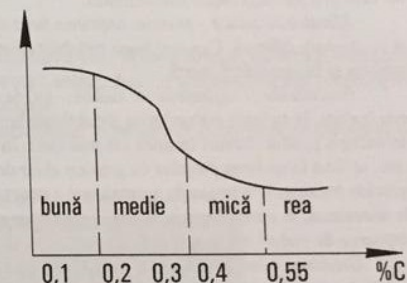


Fig. 3.1. Variația sudabilității oțelurilor în funcție de conținutul de carbon.

- oțeluri deformate la cald (lamine, forjate, matrițate);
- oțeluri turnate;
- oțeluri deformate la rece (lamine, trase, ambuțisate).

**2. Comportarea tehnologică** se definește prin caracteristicile mecanice și proprietățile tehnologice care pot fi obținute printr-o metodă de sudare, în condițiile de execuție date. Sudabilitatea cea mai bună se obține utilizând această metodă de sudare prin care cusătura rezultată are caracteristici mecanice și proprietăți de plasticitate nemodificate față de proprietățile inițiale.

Din punctul de vedere al metodei utilizate, sudabilitatea scade în ordinea de mai jos:

- sudarea prin presiune;
- sudarea cu jet de plasmă;
- sudarea în baie de zgură;
- sudarea sub strat de flux;
- sudarea cu electrod învelit;
- sudarea cu flacăra.

Asupra sudabilității acționează și alți factori tehnologici, și anume:

**Poziția de sudare** – cea mai indicată este cea orizontală, în celelalte cazuri sudabilitatea scăzând din cauza dificultăților care apar la realizarea cusăturii.

**Preîncălzirea** – contribuie, în general, la îmbunătățirea sudabilității. Sudarea la temperaturi sub 5 °C, în condiții de vânt sau ploaie, reduce sudabilitatea.

**Metalul de adaos** – permite obținerea unor cusături cu proprietăți mai bune, atunci când este de calitate superioară și cu puritate ridicată. Cea mai bună sudabilitate se obține la sudarea cu electrozi cu înveliș bazic sau cu fluxuri bazice, precum și în atmosferă inertă.

**Procedeele și regimurile de sudare** – au, de asemenea, o mare influență asupra sudabilității. Pe baza celor arătate mai înainte, la sudarea oțelurilor cu sudabilitate limitată, se poate recomanda să se recurgă la procedeele prin care sursele de energie produc fluxuri termice cât mai mari. În acest sens, poate fi menționat procedeul de sudare în baie de zgură, care, aplicat la sudarea pieselor cu grosimi chiar de peste 200 mm, dă rezultate bune, cu condiția ca, după sudare, să fie aplicate tratamente termice de normalizare a structurii. Procedeele de sudare în medii de gaze protectoare pot fi aplicate, de asemenea, la oțelurile greu sudabile, deoarece sursele de căldură mai concentrate și protecția mai bună fac posibilă obținerea de suduri corespunzătoare.

**Grosimea pieselor de sudat** – poate avea, de asemenea, o influență negativă asupra sudabilității, deoarece o masă metalică prea mare provoacă răcirea bruscă a sudurii și a zonei influențate termic, ceea ce, la oțelurile cu conținut mare de elemente de aliere și de carbon, poate da naștere la structuri fragile. Tensiunile interne mari produse din cauza contracțiilor pot provoca fisuri și chiar ruperi. Preîncălzirea executată în special la grosimi mari ale metalului de bază micșorează viteza de răcire, ceea ce înlătură formarea structurilor dure și a tensiunilor prea mari.

**Felul îmbinărilor sudate** – influențează sudabilitatea; cea mai bună sudură la același material se obține în cazul îmbinărilor cap în cap.

**3. Comportarea în exploatare** caracterizează reacția construcției sudate față de condițiile de exploatare, în special față de acelea care contribuie la reducerea plasticității materialelor, favorizează sensibilitatea de fisurare și produc ruperea fragilă. Produc efecte negative în exploatare:

- eforturile variabile;
- solicitările de durată la temperaturi ridicate;
- presiunea;
- șocurile termice;
- acțiunea unor gaze fierbinți, a unor agenți corozivi etc.

### 3.1.2. Clasificarea oțelurilor după sudabilitate

#### Grupele de sudabilitate ale oțelurilor

În cadrul proiectării și al realizării construcțiilor sudate, s-au stabilit o serie de criterii generale care să permită caracterizarea tuturor oțelurilor din punctul de vedere al sudabilității. Astfel, au fost stabilite grupe de sudabilitate, fiecare având delimitate: tehnologia de sudare, domeniile de aplicare, condițiile constructive și de exploatare.

Oțelurile se încadrează în trei grupe de sudabilitate normalizate.

**Grupa I** prezintă două subgrupe:

**Grupa Ia** – cuprinde oțelurile cu sudabilitate bună necondiționată, garantându-se obligatoriu calitatea și siguranța în exploatare a construcțiilor sudate, fără delimitarea tehnologiei de execuție sau a soluțiilor constructive, respectiv a condițiilor de exploatare. Astfel, se pot realiza construcții de orice grad de complexitate, fără preîncălzire la sudare, în orice condiții și împrejurări, obținându-se, în toate cazurile, construcții sudate de bună calitate.

**Grupa Ib** – se referă la categoria oțelurilor de sudabilitate bună condiționată, garantându-se de către producător calitatea construcției sudate numai în anumite condiții specificate din punct de vedere constructiv, tehnologic și funcțional. Astfel, se limitează grosimea maximă sudabilă, se recomandă evitarea unor soluții din care să rezulte intersecții de cusături sau forme prea complexe. Sunt recomandate, de asemenea, metode de sudare adecvate, calități superioare de metal de adaos, preîncălziri și tratamente termice, dar se interzice sudarea la temperaturi de sub 5 °C, în condiții de vânt sau ploaie etc.

**Grupa a II-a** – se referă la oțeluri cu sudabilitate posibilă, cu care se pot realiza construcții sudate de calitate, corespunzătoare numai în anumite condiții constructive, tehnologice și de exploatare stabilite în prealabil, fără însă a se garanta de către producător calitatea și siguranța în exploatare. Condițiile de realizare a construcțiilor sudate sunt stabilite de proiectant și se referă la preîncălziri, tratamente termice, metode de sudare, calitatea materialelor de adaos, complexitatea construcției și la condițiile de exploatare.

**Grupa a III-a** – este grupa oțelurilor de sudabilitate necorespunzătoare, care, în mod normal, nu permit realizarea de îmbinări sudate. Aceste oțeluri nu sunt recomandate pentru construcții sudate, deși, în anumite condiții tehnologice speciale, se pot obține îmbinări sudate acceptabile, fără garantarea calității.

În tabelul 3.1 este dată o încadrare a oțelurilor pe grupe de sudabilitate, în funcție de conținutul de carbon și de principalele elemente de aliere (Mn, Si, Ni, Cr, Mo).

Tabelul 3.1. Sudabilitatea oțelurilor în funcție de conținutul de carbon, în %.

Grupa de sudabilitate	Conținutul total de elemente de aliere (Mn, Si, Ni, Cr, Mo)		
	0,5–1,0 %	1,0–3,0 %	3,0–7,0 %
Ia	sub 0,25 % C	sub 0,20 % C	sub 0,18 % C
Ib	0,25–0,35 % C	0,20–0,30 % C	0,18–0,28 % C
II-a	0,35–0,45 % C	0,30–0,40 % C	0,28–0,38 % C
III-a	peste 0,45 % C	peste 0,40 % C	peste 0,38 % C

### 3.1.3. Sudabilitatea altor metale și aliaje

În afară de oțeluri, în domeniul construcțiilor metalice se folosesc și alte materiale, cum ar fi: metalele neferoase, metalele greu fuzibile și fontele, în anumite condiții. Fonta este un material nesudabil, deoarece conținutul mare de carbon provoacă ușor fisurarea sau ruperea piesei. Totuși, dacă înainte de sudare se încălzește materialul până la roșu închis (temperatura de 650–700 °C), iar răcirea se face astfel încât să nu se formeze structuri dure, fonta se poate suda.

Metalele neferoase sunt, în general, greu sudabile, ținându-se seama în special de afinitatea pe care unele dintre ele o au față de gaze și față de conductivitatea lor termică mare.

Aluminiul și aliajele lui, deși greu sudabile, pot fi sudate corespunzător, dacă se respectă anumite condiții privind:

- folosirea fluxurilor de dezoxidare pentru oxizii formați în baie de sudură;
- preîncălzirea materialului;
- folosirea de surse puternice de sudare.

Noile procedee, în special cele în mediu de gaz inert, permit realizarea de suduri de calitate. Cuprul și aliajele lui se sudează greu în condiții obișnuite de lucru. Ca și pentru aluminiu, sunt necesare preîncălziri, surse puternice și fluxuri de dezoxidare sau se pot folosi procedeele de sudare în mediu inert. Plumbul, zincul, nichelul se sudează prin procedeele cu flacăra, folosindu-se fluxuri decapante.

Metalele rare (niobiul, beriliul, uraniul) se sudează în bune condiții în vid înaintat sau în mediu de gaz inert, cu protecție totală. Metalele greu fuzibile (molibdenul, wolframul) se sudează în mediu de gaz inert, cu electrod de wolfram sau prin procedee noi, cum sunt: sudarea cu jet de plasmă și sudarea cu fascicul de electroni.

### 3.1.4. Tensiuni și deformații la sudare

Sub acțiunea ciclului termic care însoțește procesul de sudare, în piese se produc **tensiuni** care pot fi însoțite de **deformații**, ce depind de:

- energia sursei de sudare;
- viteza de sudare;
- configurația și dimensiunile piesei.

Cauzele apariției tensiunilor sunt generate de variația căldurii în piese. În primul rând, la piesele mici, care se încălzesc în întregime, pericolul este mai scăzut. În cazul pieselor mari există porțiuni mai calde și porțiuni mai reci. Zonele calde tind să se dilate, dar sunt împiedicate de zonele vecine mai reci. În al doilea rând, cordonul de sudură este o baie metalică. Prin solidificare, apare fenomenul de contracție care, din cauza zonelor vecine solide, este împiedicat să se manifeste.

Tensiunile se manifestă în lungul sudurilor, iar la plăcile încastrate, acestea apar și transversal. Se constată că, în lungul cusăturii, în zona centrală apar *tensiuni de întindere*, iar la capete apar *tensiuni de comprimare* (Fig. 3.2).

Tensiunile interne de valori mari conduc la apariția deformațiilor, care pot fi *transversale* (Fig. 3.3 a), *longitudinale* (Fig. 3.3 b) sau *în jurul axei* (Fig. 3.3 c).

La îmbinările realizate prin sudare, din cauza tensiunilor interne pot apărea următoarele situații:

• **contractia transversală** – apare la îmbinările cap la cap și este determinată de faptul că cele două piese de sudat nu se pot dilata în direcția longitudinală și nici nu se pot contracta liber, fapt ce duce la apariția tensiunilor transversale (Fig. 3.3. a) în zona cordonului de sudură; dacă aceste tensiuni depășesc rezistența la rupere a materialului, provoacă apariția fisurilor.

• **rotirea componentelor** (Fig. 3.3. a și 3.3. b) – apare în cazul încălzirii neuniforme a suprafețelor care se sudează în raport cu suprafața de sub cordonul de sudură. La îmbinările de colț, rotirea componentelor este cauzată de tensiunile transversale.

• **îndoirea componentelor** (Fig. 3.3. c) în jurul unei axe perpendiculare pe axa cusăturii – este cauzată de contracția neuniformă a celor două suprafețe ale piesei de sudat.

Combaterea tensiunilor și a deformațiilor se poate face prin luarea anumitor măsuri, cum ar fi:

- așezarea judicioasă a pieselor, în sensul opus tendinței de deformare;
  - asigurarea unei stabilități precise a pieselor supuse sudurii, respectând ordinea executării cusăturii, cu evitarea încălzirilor locale prea accentuate;
  - preîncălzirea pieselor;
  - aplicarea tratamentelor mecanice după sudare;
  - încălzirea locală, pentru a provoca deformații de sens opus celor produse la sudare.
- Există metode specifice de reducere a deformațiilor și a tensiunilor remanente.

#### Metode de reducere a tensiunilor remanente

În piesele și structurile sudate, tensiunile introduse în procesul de sudare, localizate în zonele adiacente cusăturii și tensiunile apărute în timpul funcționării piesei creează concentrații de tensiuni puternice. Dacă materialul sudat are

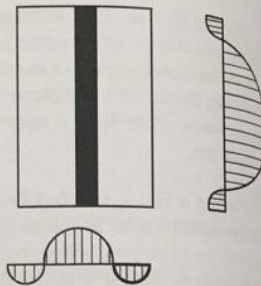


Fig. 3.2. Tensiuni ce iau naștere în cordonul de sudură.

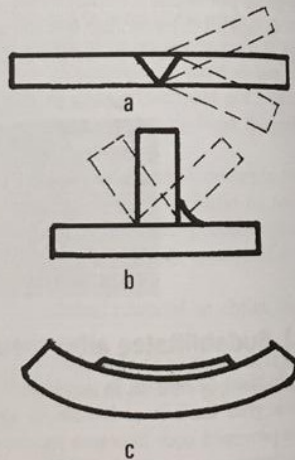


Fig. 3.3. Tipuri de deformații ce se produc în piesele sudate.

suficientă plasticitate, astfel încât, prin deformații locale, să diminueze concentrațiile de tensiuni create, atunci nu se produce fisurarea pieselor. Pierderea locală a plasticității creează posibilitatea formării fisurii, sub efectul concentrațiilor de tensiuni.

Pierderea plasticității oțelurilor este determinată de mai mulți *factori fragilizanți*, care acționează individual sau simultan.

1) **Fragilizarea prin îmbătrânire.** La oțeluri, îmbătrânirea se manifestă prin pierderea plasticității în decursul timpului. Perioada de timp în care intervine pierderea plasticității variază între câteva luni și zeci de ani, în funcție de natura oțelului.

În ceea ce privește piesele și structurile sudate, fragilizarea prin îmbătrânire apare la oțelurile deformate la rece, înosebi în domeniul de temperaturi cuprins între 200 și 400 °C.

2) **Fragilizarea prin încălzire.** Aceasta se produce la piesele din oțeluri cu grosimi mai mari de 30 mm, deoarece în zona influențată termic pot apărea constituenții structurali duri și fragili care reduc plasticitatea. Fenomenul de fragilizare prin încălzire apare mai frecvent la recipiente de presiune cu pereți groși.

Pentru reducerea tensiunilor remanente acumulate în material în timpul procesului de sudare, se recurge la aplicarea unor metode de detensionare:

- prin aplicarea unui *tratament termic de detensionare*;

Detensionarea pieselor sudate are și alte efecte benefice, cum ar fi: mărește stabilitatea dimensională; reduce sensibilitatea materialului metalic la coroziune; micșorează probabilitatea ruperii fragile.

În funcție de volumul și de complexitatea structurilor sudate, detensionarea se poate aplica asupra întregii structuri sudate sau numai local, adică în zonele adiacente cusăturii.

Pentru oțelurile-carbon sau slab aliate, temperatura de detensionare este de 550–650 °C, iar durata de menținere la această temperatură depinde de grosimea pereților pieselor sudate. Astfel, la grosimi de 10–20 mm, se recomandă o durată de 3 h, iar la grosimi mai mari, durata de menținere este de 4 h.

- prin *ultrasunete*.

Prin această metodă neconvențională, se obține reducerea tensiunilor remanente și stabilizarea dimensională a structurilor sudate.

#### Metode de reducere a deformațiilor

Pentru reducerea deformațiilor în piesele și structurile sudate, se aplică:

- metode mecanice;
- metode tehnologice;
- lovituri locale cu ciocanul.

1) **Metodele mecanice** de reducere a deformațiilor sunt următoarele:

- **Poziționarea componentelor** înaintea sudării se va face astfel încât, după sudare, să se obțină geometria necesară; de asemenea, se poate aplica și o predeformare inversă a componentelor, înainte de a fi sudate.
- **Fixarea rigidă a componentelor** în dispozitive masive are rolul de a împiedica apariția deformațiilor în piesele și structurile sudate, însă metoda introduce tensiuni; mărimea tensiunilor introduse prin fixarea în dispozitive nu trebuie să depășească rezistența materialului la rupere; în caz contrar, în timpul sudării apar fisuri și chiar ruperi.

- **Prinderea provizorie cu suduri scurte** (Fig. 3.4) în lungul rostului, cu lungimea de prindere de 20–50 mm, la distanța de 300–500 mm.

2) **Metodele tehnologice** de reducere a deformațiilor:

- **Preîncălzirea** este o măsură tehnologică pentru reducerea pericolului de fisurare și rupere fragilă a construcțiilor sudate. Influența favorabilă a preîncălzirii făcute înaintea sudării se manifestă prin reducerea vitezei de încălzire, prin favorizarea îndepărtării incluziunilor de zgură, prin reducerea vitezei de răcire. Preîncălzirea ridică mult costurile de fabricație, motiv pentru care trebuie aplicată numai în cazuri bine justificate.

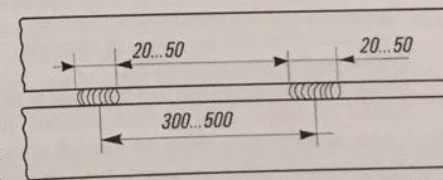


Fig. 3.4. Geometria sudurilor de prindere provizorie.

Preîncălzirea se aplică în următoarele cazuri: sudarea oțelurilor din grupele de sudabilitate Ib, II și III; sudarea manuală a oțelurilor cu grosime de peste 30 mm; sudarea la temperaturi scăzute; sudarea metalelor și a aliajelor cu conductibilitate termică ridicată.

Temperatura de preîncălzire se stabilește în funcție de: calitatea metalului de bază, complexitatea și rigiditatea construcției, grosimea materialului, metoda de sudare, felul îmbinării etc.

- **Sudarea cu preîncălzire simplă** constă în încălzirea componentelor înainte de sudare, operația de sudare executându-se în aer liber, în timpul răcirii acestora. Pentru reducerea vitezei de răcire, construcțiile sudate se împachetează în plăci de azbest sau în nisip. Această metodă se aplică la construcțiile sudate masive, cu pereți groși, cu număr mai redus de cusături de complexitate mică, realizate din oțeluri-carbon sau oțeluri slab aliate.
  - **Sudarea cu încălzire continuă** se execută la cald, construcția sudată fiind continuu în cuptor, iar sudurile fiind executate prin deschiderea cuptorului. Se aplică la construcțiile sudate cu pereți subțiri, de formă complicată, cu multe suduri care se intersectează, din oțeluri din grupa a II-a de sudabilitate.
  - **Sudarea cu încălzire ulterioară** se realizează prin introducerea asamblărilor sudate în cuptor, imediat după sudare, și se aplică la construcțiile mici, cu număr redus de îmbinări, de grosime mare.
  - **Sudarea cu încălzire combinată** se aplică la asamblările sudate preîncălzite în cuptor; în acest scop, construcțiile sunt scoase în aer liber, sudate și apoi introduse din nou în cuptor. Se aplică la sudarea oțelurilor ușor călibile, preîncălzite la temperaturi mai mari de 500 °C.
  - **Rosturile simetrice și cusăturile** efectuate prin treceri balansate elimină deformațiile introduse la trecerea realizată pe o parte, prin compensarea cu trecerea următoare, realizată pe partea opusă.
  - **Materialele de adaos cu proprietăți superioare** pot conferi cusăturii plasticitate ridicată, care să suporte deformații locale însemnate, fapt ce produce micșorarea tensiunilor.
- 3) **Aplicarea de lovituri locale cu ciocanul.** Îndreptarea pieselor deformate se execută, de obicei, cu ciocane pneumatice cu vârf sferic. Loviturile se execută după ce oțelul se încălzește, local, cu o flacăra oxiacetilenică, până ce capătă culoarea roșu-cireșiu, apoi se execută îndreptarea.

## 3.2. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE SUDARE

### 3.2.1. Considerații generale privind sudarea metalelor și a aliajelor

**Sudarea** este procedeul prin care se îmbină nedemontabil două piese de aceeași compoziție chimică, prin aducerea straturilor de atomi ai uneia dintre piese în sfera de atracție a atomilor celeilalte, cu sau fără adaos de material și în anumite condiții de presiune și temperatură. Dacă îmbinarea este omogenă (metalul de adaos este de aceeași natură cu cel de bază), procedeul se numește *sudare*, iar dacă îmbinarea este eterogenă (materialul de adaos este de natură diferită față de cel de bază), atunci procedeul se numește *lipire*.

Aplicarea procedeului de sudare prezintă o serie de **avantaje**:

- se realizează construcții etanșe, economice și ușoare;
- permite simplificarea procesului tehnologic;
- se poate aplica unei game largi de materiale;
- oferă posibilitatea automatizării.

Zonele unei îmbinări sudate sunt prezentate în figura 3.5.

Metalul sau aliajul supus operației de sudare (Fig. 3.5) se numește metal de bază, iar metalul sau aliajul sub formă de sârme sau granule, care se topește în procesul de sudare, se numește metal de adaos. Topirea metalului de adaos în amestec cu metalul de bază topit (3) formează sudura (1). Metalul de adaos este materialul provenit prin topirea metalului de adaos, care contribuie la formarea sudurii. Cusătura sau cordonul de sudare este sudura de îmbinare aflată de-a lungul pieselor sudate, obținută prin solidificarea materialului de bază topit în zona respectivă și a celui de adaos. Rostul cusăturii (2) este locul de la marginea pieselor, în care se va depune metalul de adaos. Partea

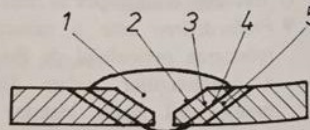


Fig. 3.5. Zonele unei îmbinări sudate: 1 - zona de sudură; 2 - rostul cusăturii; 3 - metalul de bază topit; 4 - zona de trecere; 5 - zona influențată termic.

cu care sudura depășește nivelul piesei se numește *îngroșare*. În jurul sudurii, partea de material de bază care nu a ajuns în stare de topire, dar care a suferit transformări structurale din cauza încălzirii puternice, formează zona influențată termic (5). Porțiunea compusă din sudură, împreună cu zonele de trecere (4) și cele influențate termic, formează îmbinarea sudată a celor două piese.

Îmbinările sudate se compun din **metalul de bază și cusătura**.

**Metalul de bază** este metalul sau aliajul care se sudează.

**Cusătura** se compune din mai multe rânduri de sudură, fiecare rând fiind obținut în timpul unei treceri de-a lungul cusăturii (Fig. 3.6). Adâncimea de topire a metalului de bază, numită *zonă de pătrundere a sudurii*, prezintă un interes deosebit pentru calitatea cusăturii. În urma procesului de sudare, metalul de bază din apropierea cusăturii își modifică proprietățile pe o anumită porțiune, cunoscută sub numele de *zona influențată termic*.

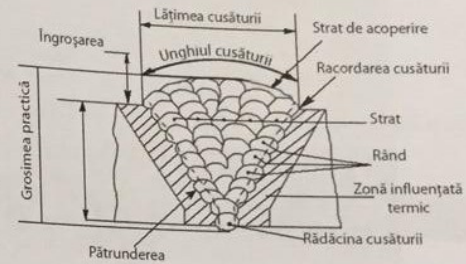


Fig. 3.6. Cusătură formată după sudare.

**Îmbinările obținute prin topire** se clasifică astfel:

a) După pozițiile principale ale cusăturii, există:

- cusături orizontale, întâlnite în cazul îmbinărilor cap în cap a tablelor orizontale;
- cusături verticale, întâlnite în cazul îmbinărilor cap în cap sau de colț;
- cusături de plafon (peste cap), întâlnite, de asemenea, în cazul îmbinărilor cap în cap sau de colț.

b) După clasa de execuție, îmbinările sudate pot fi împărțite în:

- clasa de execuție I, la construcțiile sudate deosebit de solicitate: recipiente sub presiune supuse la șocuri termice, poduri, macarale, vehicule etc.; în general, aceste suduri sunt supuse unui control radiografic integral;
- clasa de execuție a II-a, pentru solicitări medii: conducte, construcții metalice; pentru recepție, au prescripții obligatorii și control radiografic parțial;
- clasa de execuție a III-a, pentru lucrări statice supuse la solicitări reduse: scări, stâlpi, balustrade.

**Procedeul de sudare** pot fi clasificate după mai multe criterii:

a) După modul în care sunt îmbinate marginile pieselor, distingem:

- sudarea prin topire;
- sudarea prin presiune.

La sudarea prin topire, marginile pieselor de îmbinat sunt aduse în stare topită, iar după solidificare se formează sudura. Acest procedeu de sudare este cel mai utilizat.

La sudarea prin presiune, marginile de îmbinat, încălzite local sau nu, sunt presate una contra celeilalte, până la obținerea îmbinării necesare.

b) După felul încălzirii marginilor de îmbinat, deosebim:

- **sudarea chimică**, la care marginile sunt încălzite și topite local, prin căldura dezvoltată de o reacție chimică exotermică sau prin turnarea unui metal (procedee de topire cu flacăra de gaze sau cu termit);
- **sudarea electrică**, la care marginile sunt topite prin efectul caloric al arcului electric, fără exercitarea vreunei solicitări mecanice (procedee de sudare cu arc electric descoperit sau acoperit);
- **sudarea mecano-chimică**, la care marginile de îmbinat sunt încălzite cu ajutorul unor reacții chimice, iar îmbinarea rezultă în urma unei solicitări mecanice (procedeele de sudare cu flacăra de gaze și cu termit, sudate prin presiune, procedeul de sudare prin forjare);
- **sudarea electromecanică**, la care încălzirea marginilor se realizează electric, iar îmbinarea se obține printr-o solicitare mecanică (procedee de sudare prin rezistența electrică și presiune, cap la cap, în linie, în puncte);
- **sudarea mecanică prin presiune la rece sau prin frecare**, la care îmbinarea se obține prin acțiunea unei forțe de presare, frecare sau șoc.

c) După sursa de energie folosită la sudare (criteriu de bază), procedeul de sudare se clasifică conform tabelului 3.2.

Tabelul 3.2. Clasificarea procedeelor de sudare după sursa de energie folosită

Nr. crt.	Felul energiei utilizate	Denumirea procedurii sau a grupeii de procedee de sudare
1.	Energie termochimică	Sudarea cu flacăra de gaze Sudarea cu termit
2.	Energie electrotermică	Sudarea cu arc electric Sudarea prin presiune Sudarea prin inducție Sudarea electrică în baie de zgură Sudarea dielectrică Sudarea în vid cu fascicul de electroni
3.	Energie mecanică	Sudarea la rece Sudarea prin percuție Sudarea prin explozie Sudarea prin frecare Sudarea cu ultrasunete
4.	Energie radiantă	Sudarea prin radiații
5.	Energie termică nespecificată	Sudarea prin lipire Sudarea prin forjare Sudarea în aer cald Sudarea cu elemente încălzite

### 3.2.2 Procede de sudare prin topire

Procede de sudare prin topire sunt următoarele:

- **Sudarea cu arc electric** – este procedeul în care energia necesară încălzirii și topirii metalului este degajată de arc electric. Poate fi realizată prin următoarele variante:
  - a) cu arc electric cu electrod fuzibil fără protecție gazoasă;
  - b) cu arc electric acoperit (sudare sub strat de flux);
  - c) cu arc electric în mediul de gaz protector cu electrod fuzibil;
  - d) cu arc electric în mediul de gaz protector cu electrod nefuzibil;
  - e) cu plasmă.
- **Sudarea cu gaze** – este procedeul la care energia termică se obține prin arderea unui combustibil. Se poate executa cu:
  - a) oxigaz;
  - b) oxiacetilenă;
  - c) aerogaz;
  - d) aeroacetilenă.

Cel mai utilizat este procedeul ce folosește drept combustibil acetilena.

### 3.2.3. Procede de sudare prin presiune

Procede de sudare prin presiune sunt următoarele:

- **Sudarea electrică prin presiune (sudarea prin rezistență)** – este procedeul în care energia necesară încălzirii metalului se formează în timpul trecerii curentului prin piesa sudată. Poate fi realizată prin următoarele variante:
  - a) cap la cap, prin topire intermediară;
  - b) cap la cap, în stare solidă;
  - c) în puncte;
  - d) în relief;
  - e) în linie.
- **Sudarea în stare solidă (sudarea neelectrică prin presiune)** – poate fi:
  - a) cu ultrasunete;
  - b) prin frecare;

- c) prin forjare.
- Alte procedee de sudare sunt:
    - a) sudarea aluminotermică;
    - b) sudarea electrică în baie de zgură;
    - c) sudarea electrogaz;
    - d) sudarea prin inducție;
    - e) sudarea cu radiații luminoase;
    - f) sudarea cu laser;
    - g) sudarea cu fascicul de electroni.
- Procede de sudare sunt multiple și, de aceea, clasificările de mai sus se referă doar la cele cu utilizare mai frecventă.

## TEME ȘI TESTE RECAPITULATIVE



### 1. Sudabilitatea metalelor și a aliajelor

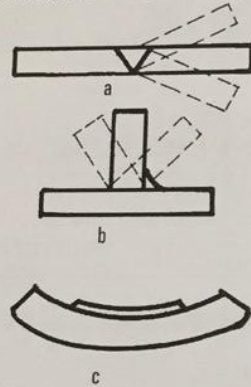
- Completează cu cuvintele potrivite spațiile libere din enunțurile de mai jos:
  - a) Sudabilitatea reprezintă proprietatea ..... a unui material, reflectată prin capacitatea acestuia de a se îmbina prin ....., astfel încât, sub acțiunea ciclului termic de ....., să nu-și modifice sensibil ....., iar în zona de îmbinare să nu apară defecte.
  - b) Detensionarea ..... sudate are și alte efecte benefice, cum ar fi:
    - mărește stabilitatea .....
    - reduce sensibilitatea materialului metalic la .....
    - micșorează probabilitatea ..... fragile.
- Stabilește valoarea de adevăr a următoarelor afirmații:
  - a) Sudabilitatea se poate aprecia prin:
    - a) comportarea tehnologică;      A F
    - b) comportarea mecanică;      A F
    - c) comportarea în exploatare;      A F
    - d) comportarea metalurgică.      A F
- Stabilește ordinea în care scade sudabilitatea la următoarele procedee de elaborare a materialelor metalice:
  - oțeluri elaborate în cuptoare Siemens-Martin;
  - oțeluri de convertizor cu oxigen (L.D.);
  - oțeluri elaborate în cuptoare electrice;
  - oțeluri elaborate în cuptoare Siemens-Martin cu insuflare de oxigen.
- Enumeră grupele de sudabilitate a oțelurilor și explică la ce categorii de oțeluri se referă.
- Încercuiește varianta corectă:
  - Tensiunile care apar în piese la sudare depind de:
    - a) metoda de sudare;
    - b) energia sursei de sudare;
    - c) viteza de sudare;
    - d) configurația și dimensiunile piesei;
    - e) conținutul de Carbon.
- Precizează ce măsuri se iau la sudare pentru a combate tensiunile și deformațiile.

## FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Definește sudabilitatea.
2. Descrie fenomenul de rupere fragilă.
3. Precizează influența pe care o are procentul de carbon asupra sudabilității.
4. Realizează o clasificare a oțelurilor în funcție de sudabilitatea lor.
5. Enumeră măsurile de combatere a tensiunilor și a deformațiilor.

## LUCRARE DE LABORATOR

1. Identifică, pe mostrele de piese sudate din laboratorul de specialitate, materialul din care acestea sunt confecționate.
2. Identifică, în desenul de mai jos, tipul deformației care s-a produs în piesă.



3. Concepe un mini-proiect având ca temă „Factori care influențează sudabilitatea”.
4. Realizează un referat cu tema „Metodele de reducere a deformațiilor”.



## 2. Clasificarea procedeelor de sudare

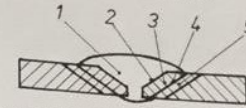
1. Stabilește corespondența dintre cele două coloane referitoare la energia utilizată la sudare și denumirea procedurii de sudare:

a. energie radiantă;	1. sudare prin explozie;
b. energie mecanică;	2. sudare cu flacără de gaze;
c. energie electrochimică;	3. sudare cu arc electric;
d. energie electrotermică.	4. sudare prin radiații.

2. Enumeră avantajele procedurii de sudare.
3. Încercuiește răspunsul corect:
  - Criteriile de clasificare a procedeelor de sudare sunt:
    - a) după sursa de energie folosită la sudare;
    - b) după modul în care sunt îmbinate marginile pieselor;
    - c) după presiune;
    - d) după radiațiile folosite;
    - e) după felul încălzirii marginilor de îmbinat.

## LUCRĂRI DE LABORATOR

1. Identifică zonele îmbinării sudate pe desenul din figura de mai jos:



2. Identifică procedeul de sudare prin care au fost obținute mostrele de asamblări nedemontabile din cabinetul de specialitate.
3. Identifică metalul de bază și metalul de adaos pe probele prezentate de profesorul de specialitate.
4. Clasifică procedeele de sudare după felul încălzirii marginilor de îmbinat.
5. Completează spațiile libere cu cuvinte potrivite sensului științific:
  - a) Sudarea este ..... prin care se îmbină ..... două piese de aceeași compoziție ..... , prin aducerea straturilor de ..... ale uneia din ..... în sfera de ..... a atomilor celeilalte, cu sau ..... adaos de material și în anumite condiții de ..... și de temperatură.
  - b) Sudarea cu ..... electric este procedeul la care ..... necesară încălzirii și ..... metalului este degajată de arcul .....
  - c) Sudarea cu gaze este ..... la care energia ..... se obține prin ..... unui combustibil.

## FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Definește procedeul de sudare.
2. Precizează ce este metalul de bază și ce este metalul de adaos.
3. Ce fel de îmbinări se obțin prin sudare?
4. Enumeră clasele de execuție ale îmbinărilor sudate, exemplificând la fiecare clasă utilizarea lor.
5. Încercuiește denumirea combustibilului folosit la sudarea cu gaze:
  - a) hidrogen;
  - b) oxigaz;
  - c) oxiacetilenă;
  - d) aeroacetilenă;
  - e) oxigen;
  - f) aerogaz.
6. Încercuiește varianta în care se poate realiza sudarea electrică prin presiune:
  - a) în pană;
  - b) cap la cap;
  - c) în linie;
  - d) în colț;
  - e) în puncte;
  - f) în relief.
7. Explică deosebirea dintre o îmbinare omogenă și una eterogenă.

# PREGĂTIREA MATERIALELOR ÎN VEDEREA SUDĂRII

# 4

- 4.1 Operații pregătitoare în vederea sudării
- 4.2 Prelucrarea rosturilor de sudare
- 4.3 Prinderea provizorie

## COMPETENȚE ȘI DEPRINDERI

Noțiunile prezentate în acest capitol contribuie la înțelegerea fenomenelor privind:

- operațiile pregătitoare în vederea sudării;
- alegerea modalităților de prelucrare a rosturilor de sudare;
- identificarea formelor de rosturi și de îmbinări sudate.

## 4.1. OPERAȚII PREGĂTITOARE ÎN VEDEREA SUDĂRII

În procesul tehnologic de execuție a construcțiilor sudate, este necesar ca, înaintea operației de sudare, să fie executate o serie de operații de pregătire, foarte importante pentru realizarea unor asamblări de calitate. Dintre acestea mai des întâlnite sunt: **curățarea, îndreptarea, debitarea, polizarea.**

### Curățarea materialelor în vederea sudării

Marginile pieselor de sudat trebuie să fie supuse operației de curățare. Curățarea constă în îndepărtarea, din zona care urmează a fi sudată, a ruginii, a petelor de grăsime, de vopsea etc. La suduri de încălzire, este necesar ca suprafețele de încălzit să fie curățate și polizate. Suprafața trebuie să fie lipsită de orice fel de fisuri sau știrbituri, care ar putea provoca amorse de rupe, după sudare sau în timpul exploatării pieselor respective.

Înainte de sudare, suprafețele sunt supuse unei duble curățări:

- curățarea mecanică se realizează folosind perii de sârmă sau discuri de sârmă acționate cu polizorul flexibil;
- curățarea chimică se efectuează cu ajutorul soluțiilor decapante, pe bază de acid sulfuric sau sodă caustică urmată de spălarea cu apă.

### Polizarea materialelor în vederea sudării

Prin polizare se îndepărtează straturi subțiri de material, în scopul eliminării neregularităților și a denivelărilor locale. Operația se execută cu polizoare mobile sau fixe, folosind pietre de polizor de diverse forme și durități, alese în funcție de materialul de prelucrat, astfel:

## Pregătirea materialelor în vederea sudării

- **oțelurile dure** se polizează cu pietre moi (granulele abrazive se desprind ușor înainte de uzura completă a granulei);
- **oțelurile moi** se polizează cu pietre dure (granulele abrazive se desprind mai greu). Duritatea pietrelor de polizat este dată de liantul folosit. Granulele abrazive sunt din carbură de siliciu, electrocorindon ( $Al_2O_3$ ) etc. Lianții au rolul de a lega granulele abrazive, cei mai utilizați lianți fiind cei pe bază de: bachelită, cauciuc, materiale ceramice.

## Îndreptarea materialelor în vederea sudării

Îndreptarea se execută fie manual, fie mecanizat. Îndreptarea *manuală* se poate realiza astfel:

- cu ciocane, pe plăci de îndreptat;
- prin încălzire locală cu flacăra și presare cu prese manuale.

Îndreptarea *mecanizată* se poate realiza cu:

- mașina de îndreptat cu valțuri;
- prese hidraulice.

În afara operațiilor de pregătire a pieselor în vederea sudării, se mai pot executa și alte prelucrări, cum ar fi: îndoiri, curbări ale pieselor, ambutisări, găuriri etc., în funcție de complexitatea construcției sudate și de procedeul tehnologic ales.

Toate operațiile de pregătire trebuie să fie însoțite de un control riguros privind respectarea limitelor prevăzute în documentație și a toleranțelor respective.

## Formele și dimensiunile rosturilor

**Rostul de sudare** este spațiul format între marginile pieselor pregătite în vederea îmbinării prin sudare (Fig. 4.1.). Din punct de vedere tehnologic, formarea rostului este necesară pentru a se putea realiza o pătrundere corespunzătoare a sudurii, pe toată grosimea materialului.

Formele și dimensiunile rosturilor sunt foarte importante pentru realizarea îmbinărilor sudate de calitate. De aceea, pentru cele mai folosite procedee industriale, rosturile sunt standardizate. La stabilirea formei rostului se ține seama de grosimea și de calitatea materialului tablelor care urmează să fie sudate. Tablele subțiri se sudează cu rostul în I, ceea ce se obține prin simpla alăturare a materialelor neprelucrate.

Pentru tablele și piesele de grosimi mari, în funcție de procedeul de sudare aplicat, marginile se prelucrează prin teșirea muchiilor în diferite forme. După teșire, prin alăturarea capetelor se obțin diferite rosturi sau combinații de rosturi (Tabelul 4.1): rosturi în V, Y, X, U, K,  $1/2 V$  etc.; combinații de rosturi în V/I, U/V, 2 Y etc.

Diferite rosturi sau combinații de rosturi se execută în funcție de: grosimea pieselor de sudat; poziția îmbinării; spațiul în care se realizează îmbinarea; clasa de execuție a îmbinării etc.

### Rosturile îmbinărilor sudate cap la cap

Rosturile în formă de **I** sunt cele mai economice, deoarece se prelucrează ușor, însă pătrunderea la rădăcina cusăturii este dificilă, necesitând surse termice puternice. Se aplică, în general, pentru oțeluri-carbon ușor sudabile, care rezistă, fără pericol de fisurare, la influența unui regim mai puternic de sudare.

Rosturile în **V** asigură o foarte bună pătrundere în adâncimea cusăturii, utilizându-se la sudarea tablelor groase, din oțeluri slab aliate, mai greu sudabile.

Rosturile în **Y** sunt folosite mai ales pentru procedee de sudare cu pătrundere mare, aplicându-se la oțeluri-carbon și slab aliate.

Rosturile în **U** sunt specifice îmbinărilor sudate de grosime mare, folosindu-se sudarea din mai multe treceri.

Rosturile simetrice sudate pe ambele părți se aplică pentru îmbinările puternic solicitate.

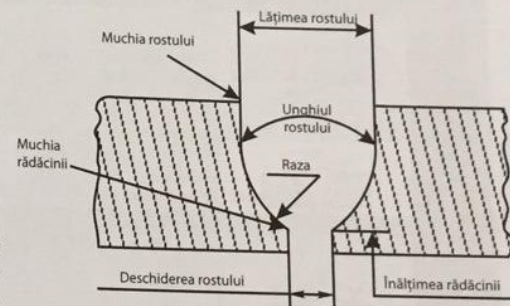


Fig. 4.1. Rostul dintre piesele de sudat.

Metode de sudare: *G* – cu gaz; *E* – cu electrod învelit; *F* – sub strat de flux; *MAG* – în  $CO_2$ ; *WIG* – în argon cu electrod de Wolfram.

### Rosturile îmbinărilor sudate în colț

Îmbinările sudate în colț se realizează între două elemente, având o poziție reciprocă în unghi, de obicei, de 90°, pot fi în colț interior (Tabelul 4.2) sau în colț exterior (Tabelul 4.3).

Îmbinările sudate în colț exterior prezintă o serie de avantaje tehnico-economice, cum ar fi:

- prelucrarea simplă a rostului;
- ușurința de pătrundere a cusăturii pe toată suprafața materialului;
- rezistența superioară a îmbinării.

### Rosturile îmbinărilor sudate în T

Construcțiile sudate în T (Tabelul 4.4) sunt, de fapt, îmbinări de colț interior, realizate între capătul unui element și suprafața celui alt. Acestea se realizează numai prin metode de sudare cu pătrundere mare cu arc electric, pentru ansamblurile supuse în exploatare la solicitări normale sau reduse.

Tabelul 4.1. Dimensiunile rosturilor la îmbinările sudate cap la cap

Nr. crt.	Îmbinarea sudată	Denumirea îmbinării sudate	Metoda de sudare	Dimensiunile rostului			
				s, mm	b, mm	$\alpha^\circ$	c, mm
1.		I – sudare dintr-o parte (cu sau fără completare la rădăcină)	G	1-6	1-3		
			E	1-3	0-1		
			F	2-10	0-3		
			MAG	1-6	0-2		
			WIG	0,5-3	0-1		
2.		V – sudare dintr-o parte (cu sau fără completare la rădăcină)	G	3-12	1-4	55-65	0-2
			E	3-20	1-3	55-65	0-3
			F	8-30	2-6	30-50	0-6
			MAG	5-20	0-2	40-60	0-3
			WIG	3-20	1-3	50-70	0-2
3.		Y – cu completare la rădăcină	F	8-24	0-1	30-50	5-9
			MAG	5-20	1-3	30-50	4-6
4.		U – sudare dintr-o parte (cu sau fără completare la rădăcină)	E	15-60	1-3	16-24	1-3
			F	20-60	0-3	18-22	2-6
			MAG	$\geq 20$	0-2	20-30	2-6
			WIG	$\geq 10$	1-3	20	1-2
5.		2Y – sudare pe ambele părți	G	$\geq 12$	3-4	45-55	0-2
			E	12-40	1-3	55-65	0-2
			F	10-60	1-4	30-60	1-4
			MAG	15-40	1-3	30-50	4-6
			WIG	15-40	1-3	50-70	1-2
6.		2U – sudare pe ambele părți	E	$\geq 30$	0-3	10-24	2-3
			F	20-80	0-2	18-22	6-8
			MAG	$\geq 30$	0-2,5	20-30	4-6

Tabelul 4.2. Dimensiunile rosturilor la îmbinările sudate în colț interior.

Nr. crt.	Îmbinarea sudată	Denumirea îmbinării sudate	Metoda de sudare	Dimensiunile rostului			
				s, mm	b, mm	$\alpha^\circ$	c, mm
1.		În I, cu margini drepte	E	2-10	0-2	70-100	
			F	3-30	0-2	80-100	
			MAG	2-10	0-2	70-100	
2.		În I, cu rost 1/2Y	E	3-20	0-3	45-55	0-2
			F	5-40	0-1	45-60	0-4
			MAG	8-25	0-2	45-55	0-3
			WIG	3-20	1-3	50-60	1-2
3.		În I, cu dublu 1/2Y sudată pe ambele părți.	E	12-40	1-3	45-55	0-20-2
			F	20-40	0-2	45-60	3-4
			MAG	12-40	0-3	40-6+	1-5
			WIG	$\geq 10$	1-3	50-60	1-2
4.		În I, cu rost 1/2U dublu sudată pe ambele părți.	E	$\geq 30$	0-3	20-30	2-3

Tabelul 4.3 Dimensiunile rosturilor la îmbinările sudate în colț exterior.

Nr. crt.	Îmbinarea sudată	Denumirea îmbinării sudate	Metoda de sudare	s, mm	b, mm	$\alpha^\circ$	c, mm	h
1.		În L, pe muchie (cu completare la rădăcină)	G					
			E	$< 6$ $> 3$	0-2 0-2	60-120 60-100		
2.		În L, cu rost în I pe suport de oțel	E	2-8	1-8			
			F	$\geq 10$	$\geq 3$			
3.		În L, cu rost în V pe suport de oțel	E	6-15	3-5	30-40		
			F	6-18	3-5	30-45	6-8	
			MAG	3-20	2-8	35-45		
4.		În L, cu rost în Y (cu completare la rădăcină)	E	5-20	1-3	55-65	1-3	
			F	5-25	$\leq 1$	45	3-6	
			MAG	12-25	0-2	40-50	0-3	
5.		În L, cu rost în U	E	$\geq 15$	0-3	16-22	1-3	$r = 4$
			F	$\geq 12$	0-2	20	1-10	$r = 6$

Tabelul 4.4. Dimensiunile rosturilor la îmbinările sudate în T

Nr. crt.	Îmbinarea sudată	Denumirea îmbinării sudate	Metoda de sudare	Dimensiunile rostului				O <sub>be</sub>
				s, mm	b, mm	$\alpha^\circ$	c, mm	
1.		În T, sudat din ambele părți	E	$\geq 6$	0-2			
			F	$\geq 10$	0-2			
			MAG	$\geq 3$	0-2			
2.		În T, cu rost 1/2V (cu completare la rădăcină)	E	3-20	0-3	45-55	0-2	
			F	5-10	0-1	45-60	0-4	
			MAG	8-25	0-2	45-55	0-3	
			WIG	3-20	1-3	50-60	1-2	
3.		În T, cu rost 1/2V sudat pe suport de oțel	E	3-20	2-6	35-45	n = 1,5-4 m = 15-20	
			MAG	3-20	2-6	25-45		
4.		În T, cu rost 1/2U	E	$\geq 15$	1-3	25-35	1-3	r = 7
5.		În T, între 3 table	E	$\geq 12$	min.8			

## 4.2. PRELUCRAREA ROSTURILOR DE SUDARE

### Debitarea materialelor în vederea sudării

Prelucrarea rosturilor de sudare cu flacără de gaz și oxigen are la bază proprietatea metalului de a arde în oxigen. Pentru ca tăierea metalului să decurgă ușor, este necesar ca temperatura de ardere în oxigen a metalului respectiv să fie mai mică decât temperatura lui de topire. Din acest punct de vedere, oțelurile cu conținut redus de carbon îndeplinesc această condiție, deoarece temperatura de aprindere pentru ardere în oxigen este de 1050–1100 °C, iar temperatura de topire este de 1480–1530 °C.

Gazele folosite la tăiere sunt acetilena sau gazele naturale. Se recomandă folosirea gazelor naturale, deoarece față de acetilenă, prezintă avantajul că oferă mult mai mare siguranță în exploatare, pericolul de explozie fiind mult mai mic. Deși gazele naturale au o putere calorică mai redusă și o temperatură a flăcării în amestec cu oxigen mai mică (2100 °C, față de 3100 °C), ele pot fi folosite, în cele mai bune condiții, la tăiere, unde pentru obținerea unor tăieturi de calitate este mai indicată o temperatură mai redusă, care să permită menținerea arderii. La fel ca la sudare, folosirea relației carbonului echivalent este necesară, deoarece numai la materialele cu sudabilitate bună nu se produc fisuri în urma tăierii; astfel, oțelurile cu conținut de carbon echivalent sub 0,35% nu prezintă niciun fel de tendință spre fisurare. În cazul în care conținutul de carbon echivalent depășește 0,5%, este necesară preîncălzirea materialului înainte de tăiere, la temperatura de 200 °C, iar în cazul unui conținut de carbon echivalent mai mare de 1%, se recomandă intervalul de temperaturi de preîncălzire de 350–400 °C.

**Debitarea materialului** se execută, în funcție de grosimea materialului și de utilajul utilizat, prin:

- tăierea mecanică la mașini-unelte sau cu foarfecă tip ghilotină;
- tăierea cu flacără cu gaz și oxigen.

### Pregătirea materialelor în vederea sudării

**Tăierea mecanică** cu foarfecă prezintă dezavantajul că marginile se ecrusează și că este necesară prelucrarea ulterioară, pentru a îndepărta stratul ecrusat.

**Tăierea cu flacără de gaz și oxigen** poate fi manuală sau mecanizată. În cazul tăierii manuale, este necesar ca, în prealabil, să fie executată operația de trasare. Tăierea mecanizată și automatizată cu flacără de gaz și oxigen se folosește, în general, la tăierea tablelor și a profilelor groase și poate fi realizată:

- cu un arzător montat pe cărucior, antrenat de un motor electric, care imprimă o viteză constantă pe un șablon, sau ghidat pe șine; în cazul utilizării a două sau a trei arzătoare, odată cu tăierea se prelucrează și rosturile (în V, Y, X etc.);
- folosind instalații automate de debitare cu flacără, comandate de calculatoare (roboți), se obțin precizii dimensionale și geometrice ridicate ale pieselor;
- cu copiere fotoelectrică după desene, executate la scări de mărire 5:1, 10:1, 20:1, se pot realiza tăieri de piese cu configurații complicate și cu precizie dimensională ridicată.

Pentru tăierea după șabloane, sunt folosite mașini staționare cu brațe articulate, cu ajutorul cărora pot fi executate piese finite, fără să fie necesară vreo prelucrare ulterioară de finisare. În figura 4.2, este indicat principiul de funcționare a unei mașini cu brațe articulate.

Tăierea tablelor subțiri, de 0,5–1 mm, în pachet, prezintă importante avantaje economice; se strâng împreună 50 de table de 1 mm sau 100 de table de 0,5 mm, după care se acoperă cu două table de 10 mm, astfel încât pachetul să devină de 70 mm. În prealabil, tablele trebuie să fie îndreptate și presate bine între ele, eventual cu intercalarea unor hârtii foarte subțiri, care împiedică sudarea între ele a tablelor pe muchie. Deoarece chiar la folosirea unui oxigen de tăiere foarte pur, acesta se impurifică din flacără de încălzire, s-a recurs la o construcție nouă, de becuri pentru arzătoare, prin prevederea unei perdele suplimentare de oxigen protector, de presiune redusă, între ajustajul oxigenului de tăiere și cel al flăcării, conform figurii 4.3. Se recomandă ca, la folosirea vitezelor mărite, arzătorul să fie înclinat cu 15–30°, cu capul de tăiere spre sensul de înaintare, caz în care rizurile de pe suprafața tăiată dispar sau devin mai mici.

### Prelucrarea rosturilor de sudare cu flacără de gaz și oxigen

La tablele de grosimi inegale, sudurile cap la cap pot fi executate la fel ca și pentru tablele de grosimi egale, dacă diferența dintre cele două grosimi nu depășește o anumită valoare stabilită prin standarde, în funcție de procedeul de sudare aplicat.

Prelucrarea rosturilor în Y, K, X etc. poate fi executată simultan cu două sau trei arzătoare, montate pe mașini portabile. Arzătoarele sunt dispuse distanțat, așa cum se arată în figura 4.4, în care se prezintă modul de obținere a unui rost în X sau K. Primul arzător, 1, este pentru tăierea propriu-zisă, iar arzătorul 2 și arzătorul 3 sunt pentru obținerea teșiturilor necesare. Tăierea simultană prezintă avantajul că primul arzător, prin căldura degajată la tăiere, preîncălzește tabla, ușurând procesul de tăiere a celorlalte două arzătoare, realizându-se

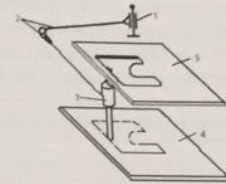


Fig. 4.2. Schema cinematică a unei mașini cu brațe articulate de tăiere cu flacără și oxigen: 1 – coloana mașinii; 2 – brațe articulate; 3 – capul de conducere prevăzut la partea superioară cu bolt magnetic și la partea inferioară cu arzător; 4 – piesa de tăiat; 5 – șablon.

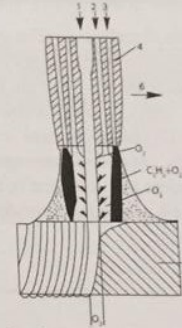


Fig. 4.3. Bec de tăiere prevăzut cu perdea suplimentară de oxigen protector: 1 - oxigen de tăiere; 2 - oxigen suplimentar; 3 - amestec de oxigen-acetilenă pentru flacără de încălzire; 4 - cap tăietor; 5 - piesa de tăiat; 6 - sensul de tăiere.

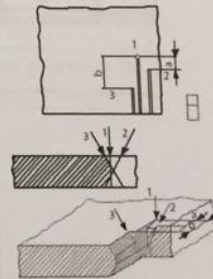


Fig. 4.4. Schema de tăiere, în vederea pregătirii rosturilor cu trei arzătoare simultan: a - distanța dintre primul și al doilea arzător; b - distanța dintre primul și al treilea arzător.

totodată o calitate mai bună a tăieturii. Flacăra de gaz și jetul de oxigen pot fi folosite și pentru prelucrarea suprafețelor plane sau cilindrice, pentru execuția de piese cu concavități. Se folosesc arzătoare cu putere mai mare a flăcării, având ajutoare speciale. Capul de tăiere, în loc de un canal circular, este prevăzut cu șase găuri pentru flacăra de preîncălzire, concentrice față de jetul de oxigen. Arzătorul se așază la un unghi de 15-25°.

#### Controlul formei și al dimensiunilor rosturilor

Formele și dimensiunile rosturilor sunt standardizate. Controlul acestora presupune: verificarea *formei rostului*, cu șabloane de diverse forme și mărimi, conform standardelor, și cea a *dimensiunilor*, cu instrumentele de măsură și control cunoscute (șablere, micrometre, echere, raportoare etc.).

### 4.3. PRINDEREA PROVIZORIE

Prinderea corectă a pieselor este o operație importantă de pregătire în vederea sudării. Rostul prevăzut între table nu trebuie să se modifice în timpul desfășurării operației de sudare. Pentru aceasta se folosesc prinderi de sudură care se execută la distanțe de 50-150 mm, în funcție de grosimea tablei, cu lungimi ale sudurilor de 10-20 mm.

Tablele subțiri, de până la circa 2,5 mm, se prind astfel încât între ele să nu fie niciun interstițiu. Știind că prinderile produc contracții puternice, ceea ce duce la deformații, succesiunea de prindere nu va fi de la un capăt la celălalt, deoarece aceasta conduce la suprapunerea capătului spre care se înaintează. În cazul în care tablele sunt tăiate corect, ordinea de prindere va fi cea dată în figura 4.5 (pentru table de 1.000 x 2.000 mm). În cazul în care tablele nu sunt tăiate drept, iar între ele se produc interstiții mărite la un capăt sau la mijloc, ordinea de prindere este cea indicată în figurile 4.6 a, b și c.

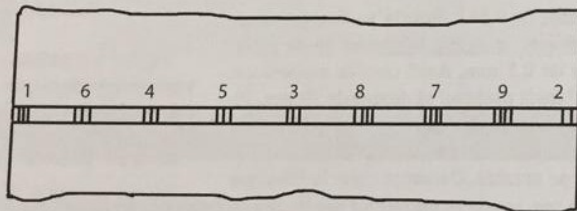


Fig. 4.5. Succesiunea corespunzătoare a prinderilor prin sudură la table subțiri, când marginile sunt decupate drept.

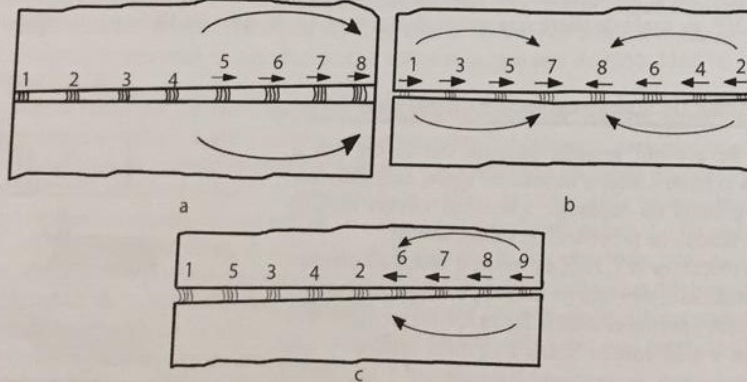


Fig. 4.6. Succesiunea prinderilor prin sudură la table subțiri, cu rosturi neuniforme: a - cu rostul mărit într-o parte; b - cu rostul mărit la mijloc; c - cu rostul micșorat într-o parte.

Tablele cu grosimea între 4 și 10 mm, după prelucrarea la formele necesare, se prind prin alăturarea și menținerea în timpul prinderii a rostului prevăzut în documentație (1-2 mm), cu ajutorul unor pene. Pentru prinderile cusăturilor lungi, se va aplica procedeul indicat la tablele subțiri. În cazul în care lungimea de prindere este mai scurtă (sub 60 mm), este preferabil ca prima prindere să fie executată la mijloc, iar următoarea se va face succesiv, de o parte și de alta a prinderii din mijloc. Pentru obținerea unei suduri ireproșabile, fără cratera la capetele cusăturilor, se recomandă ca la capetele rosturilor să fie prinse două table. Aceste plăci ușurează și execuția prinderilor. După sudare, plăcile din capăt se îndepărtează.

Tablele groase se prind menținându-se interstițiul necesar dintre table, prevăzut în documentație. După prindere, care se execută cu suduri de prindere puternice, de minimum 20 mm lungime (uneori până la lungimi de 40 mm), cu grosimea de 3-4 mm, sudarea primului strat se execută pe partea opusă. Prinderile se îndepărtează și apoi se sudează pe partea prinderilor. În cazul în care sudurile se execută peste prinderi, ele trebuie să fie ireproșabile și să depășească 300 mm.

La sudarea de colț se prevăd unghiuri mărite, care să compenseze contracțiile după sudare, asigurând unghiul final dintre piese.

În cazul sudurilor de colț pe ambele laturi (în T), prinderea se face succesiv, pe ambele părți, menținând cu echere unghiul corect. Sudarea, de asemenea, se va executa echilibrat, pe ambele părți, în vederea eliminării deformațiilor. La sudarea ansamblurilor mici în serie, sudura se execută în dispozitive, fără suduri de prindere.

## TEME ȘI TESTE RECAPITULATIVE



### Pregătirea materialelor în vederea sudării

1. Marchează corespondența dintre procedeul de îndreptare în vederea sudării și modul de realizare:

a) îndreptare manuală;	1. prese hidraulice;
b) îndreptare mecanizată.	2. ciocane;
	3. mașini de îndreptat cu valțuri;
	4. prin încălzire locală cu flacăra și presare cu prese manuale.

2. Încercuiește răspunsul corect.

La debitarea semifabricatelor în vederea sudării, se utilizează:

- fierăstraiele mecanice;
- foarfeca tip ghilotină;
- mașinile-unelte;
- flacăra cu gaz și oxigen.

3. Marchează corespondența dintre oțelurile supuse polizării și caracteristicile pietrelor de polizor:

a) oțeluri moi;	1. pietre abrazive moi, la care granulele se desprind ușor;
b) oțeluri dure.	2. pietre abrazive dure, la care granulele se desprind mai greu.

4. Încercuiește răspunsul corect. Diferitele forme de rosturi se execută în funcție de:
- poziția îmbinării;
  - aparatul de sudură folosit;
  - clasa de execuție a îmbinării;
  - dimensiunea asamblării;
  - grosimea pieselor de sudat;
  - spațiul în care se realizează sudarea.
5. Stabilește valoarea de adevăr a enunțului de mai jos, notând cu A (adevărat) sau F (fals):
- Avantajele îmbinărilor sudate în colț exterior sunt:
- prelucrarea simplă a rostului;
  - rezistența superioară a îmbinării;
  - pătrunderea cu greutate a aliajului de lipit în rostul cusăturii;
  - plasticitatea redusă a îmbinării.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

- Enumeră principalele operații de pregătire a semifabricatelor în vederea sudării.
- Enumeră tipurile de rosturi și combinațiile de rosturi folosite la sudare.
- Describe operațiile de prindere a pieselor în vederea sudării.

### LUCRĂRI DE LABORATOR

- Identifică, pe mostrele de construcții sudate existente în laboratorul de specialitate, tipurile de rosturi.
- Întocmește un scurt referat cu tema „Prelucrarea rosturilor la procedeul de sudare cu flacăra de gaze”.

## SUDAREA CU ELECTROZI ÎNVELIȚI

# 5

- 5.1. Materiale de adaos folosite la sudare
- 5.2. Tehnologia sudării cu electrozi înveliți
- 5.3. Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice operației de sudare electrică

### COMPETENȚE ȘI DEPRINDERI

Noțiunile prezentate în acest capitol contribuie la înțelegerea fenomenelor privind:

- alegerea materialelor de adaos folosite la sudarea cu electrozi înveliți;
- identificarea echipamentelor, a utilajelor și a SDV-urilor specifice operației de sudare cu electrozi înveliți.

### 5.1. MATERIALE DE ADAOS FOLOSITE LA SUDARE

**Materialul de adaos** utilizat la sudare trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- compoziția chimică să fie apropiată de cea a metalului de bază sau compatibilă cu aceasta;
- cordoanele de sudură realizate să aibă proprietăți apropiate de cele ale metalului de bază;
- în urma solidificării să rezulte structuri cât mai omogene, cu granulație corespunzătoare și fără constituenți fragili;
- să corespundă, ca și metalul de bază, condițiilor de mediu în care lucrează piesa (presiune, temperatură, mediu coroziv);
- să fie ușor prelucrabil în procesul de sudare.

În afară de materialul care intră direct în masa metalică, se consideră material de adaos și acele materiale care contribuie la alierea sudurii. Astfel, materialele de adaos pot fi clasificate în *electrozi fuzibili* (înveliți sau neînveliți) și *fluxuri*.

**Electrozii** au multiple funcții: conduc curentul electric, amorsează arcul prin scurtcircuitarea la începutul procesului, formează cusătura prin depunere.

**Electrozii înveliți** – sunt, în general, destinați sudării manuale cu arc electric. Învelișul electrodului este un strat format dintr-un amestec de substanțe, aplicat pe exteriorul materialului de adaos, în scopul îmbunătățirii calității sudurii.

Acești electrozi pot fi clasificați astfel:

- După dimensiuni, electrozii înveliți se fabrică cu grosimi, în mm, de 1,6; 2; 2,5; 3,15; 3,25; 4; 5; 6, iar la cerere, pot avea grosimi de: 6,5; 8; 10; 12,5 și lungimi de la 200 la 450, din 50 în 50 mm.

2. După grosimea învelișului, electrozii pot fi:

- cu înveliș subțire, de grosime până la 10% din diametrul vergelei; sunt folosiți la construcții de importanță redusă, deoarece caracteristicile mecanice ale sudurii obținute nu sunt superioare;
- cu înveliș mediu, de grosime între 10 și 15% din diametrul vergelei, asigurând calități mai ridicate ale sudurii obținute;
- cu înveliș gros, de grosime peste 25% din diametrul vergelei, folosiți la construcții metalice;

3. După natura învelișului:

- cu înveliș acid (cu amestec de oxid de fier, de mangan, de siliciu și feromangan);
- cu înveliș bazic (carbonat de calciu, fluorură de calciu și feroaliaje);
- cu înveliș celulozic (cu amestec de celuloză și bioxid de titan);
- cu înveliș titanic (cu amestec de bioxid de titan);
- cu înveliș special antihigroscopic, pentru sudarea în apă; conține mai mult de 50 % pulbere de fier.

4. După destinație, electrozii pot fi:

- pentru oțeluri nealiat și slab aliate;
- pentru oțeluri slab aliate rezistente la temperaturi sub 600°C;
- pentru oțeluri mediu aliate și înalt aliate, anticorozive și refractare;
- pentru încărcare de straturi care necesită duritate ridicată;
- pentru fonte;
- pentru metale neferoase și aliajele lor.

Recomandările privind utilizarea electrozilor pentru sudarea diverselor tipuri de oțel sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Utilizarea electrozilor pentru sudarea diverselor tipuri de oțel

Tip oțel	Tip electrod	Acid	Bazic	Celulozic	Titanic
Carbon < 0,2%					
Carbon = 0,2-0,25					
Carbon echivalent = 0,25-0,30					
Carbon echivalent = 0,30-0,50					
Oțeluri de mare rezistență - 70-140 daN/mm <sup>2</sup>					
Oțeluri rezistente la temperaturi de până la 600°C					

Fluxurile se prezintă sub formă de granule cu dimensiuni cuprinse între 0,1 + 4 mm și pot fi obținute prin topire și răcire în apă, din: minereu de mangan, cuarț, fluorină, magneziu și aluminiu, sau prin măcinarea componentelor de: marmură, fluorină, oxid de aluminiu, feroaliaje.

## 5.2. TEHNOLOGIA SUDĂRII CU ELECTROZI ÎNVELIȚI

### Tehnologia sudării

Pentru menținerea arcului și realizarea sudurii, sunt necesare trei mișcări ale electrodului față de piesă:

- apropierea electrodului pe măsura topirii acestuia, astfel încât arcul să fie menținut la lungimea necesară (2-5 mm);
- mișcarea transversală, pendulară, pentru topirea marginilor de sudat și pentru obținerea lățimii necesare a sudurii;
- mișcarea de înaintare a electrodului pe linia de sudură. După formarea arcului, electrodul se înclină la 60-70° față de orizontală (Fig. 5.1).

Majoritatea electrozilor se conectează la polul pozitiv, cu excepția celor pentru care fabricantul indică altfel.

Intensitatea curentului de sudură la sudarea oțelului-carbon nealiat se va regla în funcție de diametrul electrodului utilizat și de tipul sudurii ce trebuie realizată (Tabelul 5.2).

Tabelul 5.2. Intensitatea curentului folosit la sudură

Diametru electrod (mm)	Curent sudură [A]	
	min.	max.
1,6	25	40
2	40	70
2,5	60	100
3,2	90	160
4	130	200

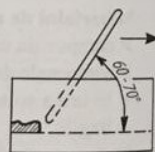


Fig. 5.1 Poziția electrodului la sudarea cu electrozi înveliți.

## Sudarea cu electrozi înveliți

În figura 5.2 sunt reprezentate pozițiile și mișcările electrodului la:

- sudarea orizontală pe perete vertical (Fig. 5.2. a);
- sudarea orizontală de colț cu un perete vertical (Fig. 5.2. b);
- sudarea pe plafon (Fig. 5.2. c);
- sudarea verticală (Fig. 5.2. d).

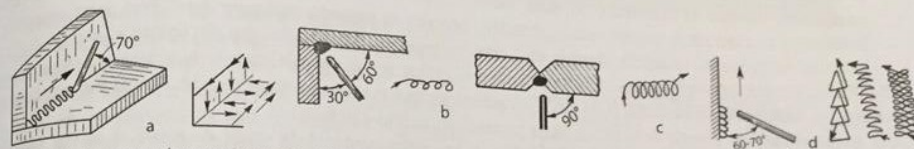


Fig. 5.2. Sudarea cu electrozi înveliți: a - sudarea orizontală pe perete vertical; b - sudarea orizontală de colț cu un perete vertical; c - sudarea pe plafon; d - sudarea verticală.

**Sudarea tabelor și a profilurilor.** Tablele și profilurile subțiri (Fig. 5.3.), cu grosimea peretelui sub 1 mm, se vor răsfrângea marginilor (Fig. 5.3. b).

Tablele cu grosimea de 2-3 mm se sudează cap în cap, așezate fără interstiții pe o garnitură de cupru. Tablele și profilurile subțiri, sub 3 mm, se recomandă a fi sudate cu curent continuu, de polaritate inversă (tabla fiind catod, va avea o temperatură mai joasă).

Tablele cu grosime medie, între 3 și 6 mm, se sudează în I, V, Y, pe muchie sau în găuri rotunde, pe una din părți sau bilateral.

Atât tablele subțiri, cât și cele de grosime mijlocie se sudează în trepte inverse (Fig. 5.4).

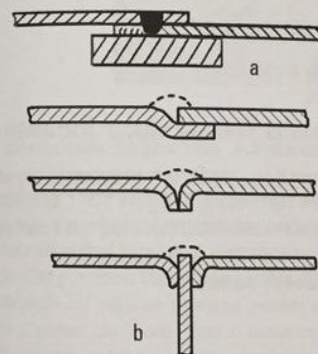


Fig. 5.3. Sudarea cu electrozi înveliți: a - prin suprapunere cu partea suprapusă peste o garnitură de cupru; b - cu răsfrângerea marginilor.

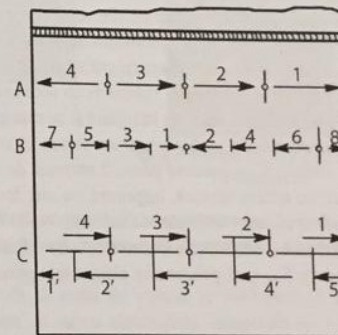


Fig. 5.4. Sudarea tabelor în trepte inverse: A - sudarea cusăturilor scurte la table subțiri; B - sudarea cusăturilor lungi la table subțiri; C - sudarea pe ambele părți sau în două straturi a tabelor mijlocii: 1. 2. 3. 4., ..... treptele de sudare.

Tablele și profilurile cu grosime de peste 6 mm se sudează numai cu rosturile prelucrate. Pentru sudarea tabelor și a profilurilor cu grosimi mari, este indicată, în multe cazuri, preîncălzirea, iar succesiunea rândurilor trebuie să corespundă grosimii sudurii, pentru a preveni apariția fisurilor.

**Sudarea fontelor.** O îmbinare omogenă a două piese din fontă nu se poate obține decât prin sudarea la cald, prin încălzirea pieselor la 650-700 °C și folosirea ca material de adaos a electrozilor de fontă.

Deoarece fonta devine brusc lichidă la atingerea temperaturii de topire (1.150-1.300 °C), sudarea ei se execută numai în poziție orizontală, în locașuri delimitate cu plăci de grafit.

La sudare este folosit curentul continuu, în polaritate directă, densitatea de curent fiind 70-80 A pentru fiecare milimetru grosime de electrod. Procesul de sudare trebuie să fie neîntrerupt și, de aceea, se recomandă ca piesele mari să fie sudate de doi sudori.

Sudarea la rece a fontei se poate executa cu electrozi de Ni, Ni-Cu, fero-nichel, cupru-oțel etc.

**Sudarea de încărcare.** Încărcarea prin sudură se folosește în două situații:

- la recondiționarea pieselor uzate, când încărcarea se face cu un material de adaos de aceeași calitate cu cea a materialului de bază;
- la fabricarea de produse noi, la care părțile active ale pieselor se încarcă, de obicei, cu materiale dure, de compoziție diferită de materialul de bază. Piesele astfel obținute se numesc *bimetalice*, iar în cazul în care încărcarea se execută în scopul măririi durității, operația se numește *încărcare dură*. Prin acest procedeu se execută, de exemplu, matrițele, ștanțele etc., care, în trecut, se executau integral din oțeluri aliate.

Pentru încărcarea diferitelor piese, cum sunt sculele de prelucrare, armăturile, piesele de utilaje, solicitate la uzură abrazivă etc., se fabrică numeroase mărci de electrozi pentru încărcare, cu proprietăți speciale. Pentru sudarea cu acești electrozi, se recomandă ca piesele de încărcat să fie preîncălzite la 300-450 °C.

Ca operații finale, înaintea controlului îmbinării se va curăța cordonul de stropi de zgură și se vor îndepărta supraînălțările. Piesele vor fi supuse tratamentului termic de detensionare.

### 5.3. ECHIPAMENTE, UTILAJE ȘI SDV-URI SPECIFICE OPERAȚIEI DE SUDARE ELECTRICĂ

#### 5.3.1. Surse de curent

La sudarea cu arc electric, se utilizează, ca surse de curent, generatoarele de sudură și transformatoarele de sudură. Acestea trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să poată funcționa timp îndelungat în regim de scurtcircuit;
- să asigure trecerea rapidă din regim de scurtcircuit în regim de sarcină și invers;
- să permită reglarea curentului în limite largi și în trepte fine;
- să aibă tensiuni de mers în gol suficient de mari pentru amorsarea arcului;
- să aibă un randament ridicat și un consum minim la mersul în gol;
- să fie durabile, ușor de întreținut și de manipulat.

**Generatorul de sudură** este un dinam electric cu caracteristici coborâtoare, care asigură alimentarea optimă a arcului de sudură. Generatorul poate fi antrenat de un motor electric, împreună cu care formează grupul convertizor, sau de un motor cu ardere internă, împreună cu care formează grupul electrogen reprezentat în figura 5.5. Curentul continuu asigură realizarea unor îmbinări de calitate, având ca principal avantaj obținerea stabilității arcului, mult mai mare decât în cazul curentului alternativ. Caracteristicile tehnice ale grupului electrogen sunt date în tabelul 5.3.

În figura 5.6 sunt prezentate elementele principale ale unui convertizor de sudură:



Fig. 5.5. Grup electrogen pentru sudură.

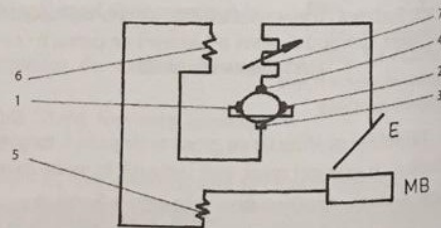


Fig. 5.6. Schema de principiu a unui convertizor de sudură: 1, 2 – perii scurtcircuitate; 3, 4 – perii care dau curentul de sudare; 5, 6 – bobinele principale; 7 – rezistența variabilă; E – electrod, MB – piesa de sudat.

Tabelul 5.3. Caracteristicile tehnice ale grupului electrogen

Putere max.	Intensitate curent sudare	Diam. max. electrod	Motor	Cilindree	Nr. cilindri	Putere	Rot/min max	Auton. la 3/4 sarcină
3000 VA	50 – 200 A	4 mm	4 timpi	270 cm <sup>3</sup>	1	8,2 CP	3000	3 ore

**Transformatorul de sudură** furnizează curent alternativ sau, în cazul în care este dotat și cu un redresor, curent continuu pulsator. Prezintă avantajul că are un randament mai bun, este mai robust și are întreținerea mai simplă decât generatorul de sudură. Reglarea regimului de lucru se face prin deplasarea bobinei de reactanță. Elementele componente sunt următoarele (Fig. 5.7): blocul mobil al bobinei de reactanță (1), miezul de fier (2), bobina primară (3), bobina secundară (4), bobina de reactanță (5).

Pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu, se folosește un **redresor de curent** (Fig. 5.8), ale cărui caracteristici tehnice sunt reprezentate în tabelul 5.4, iar pentru stabilizarea arcului în curent alternativ se folosește un **oscilator de ionizări**.

Tabelul 5.4 Caracteristici tehnice ale redresorului

Tensiune alimentare (V/50/60Hz)	Putere absorbită (KW)	Intensitate curent de sudură (A)	Ø electrod (mm)	Ventilație
230	7,2	45 + 230 alternativ 25 + 160 continuu	1,6-5 1,6 + 4	forțată

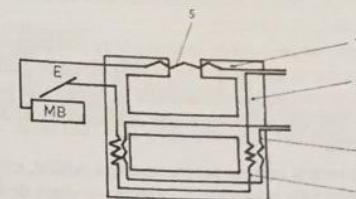


Fig. 5.7. Schema de principiu a unui transformator de sudură: 1 – blocul mobil al bobinei de reactanță; 2 – miez de fier; 3 – bobina primară; 4 – bobina secundară; 5 – bobina de reactanță; E – electrod; MB – piesa de sudat.



Fig. 5.8. Transformator de sudură cu redresor.

#### 5.3.2. Accesorii, scule și dispozitive folosite

##### Accesorii și dispozitive folosite la sudare

**Cleștele portelectrod** servește la conducerea electrodului prins în el, pentru realizarea cordonului de sudură. Permite o manipulare ușoară și împiedică electrocutarea utilizatorului. În figura 5.9 este reprezentat un portelectrod complet izolat, cu masa de 400 g, pentru curenți de până la 400 A.

**Cablurile de sudare** folosesc pentru conducerea curentului de la sursa de curent la portelectrod și la clema de contact a piesei de lucru. Este o construcție multifilară din sârme de cupru electrolitic, acoperite cu o izolație de cauciuc. Secțiunea cablului se alege în raport cu diametrul electrozilor.

Pentru sudarea cu electrozi cu diametru de până la 3,5 mm se folosesc cabluri cu secțiuni nominale de 25 mm<sup>2</sup>; până la 4 mm, de 35 mm<sup>2</sup>; până la 5 mm, de 50 mm<sup>2</sup>. Lungimea cablului nu trebuie să depășească 5 m. Pentru lungimi mai mari de 5 m se vor lua secțiuni standardizate mai mari.

Legăturile dintre cabluri se execută cu racorduri fixe sau demontabile, cu ajutorul cărora se obțin contacte bune, complet izolate. Pentru legarea la clește și la clema de contact, cablurile se vor cositori.

**Clema de contact** servește la conducerea curentului de la sursa de curent la masă sau la piesa de lucru. Prinderea clemei de masă se realizează cu un șurub de presiune.

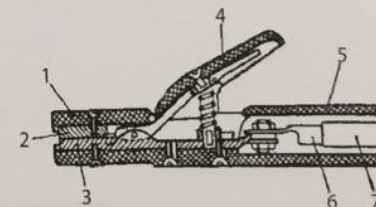


Fig. 5.9. Portelectrod: 1 – placă din bachelită; 2 – bec superior din fontă; 3 – bec inferior din bronz; 4 – mâner din bachelită textilă; 5 – mâner portelectrod; 6 – papuc; 7 – cablu.

În figura 5.10 este prezentată o clemă de contact folosită pentru prinderi cu grosimi de până la 50 mm și curenți de până la 400 A.

Sculele necesare sudorului sunt:

- *ciocanul de sudor*, pentru curățarea zgurii, cu un capăt în formă de daltă, iar celălalt, ascuțit;
- *ciocanul cu cap rotund*, pentru ciocănirea sudurii;
- *dalta*, pentru îndepărtarea stropilor de sudură;
- *ciocanul obișnuit*;
- *ciocan pneumatic*, indicat pentru curățarea stropilor;
- *peria de sârmă de oțel*, pentru curățarea zgurii sau a ruginii.

Pentru prevenirea accidentelor de muncă care pot surveni în timpul procesului de sudare, este obligatorie purtarea *echipamentului de protecția muncii*. Acesta se constituie din:

- masca și ecranul pentru protecția ochilor, a feței și a gâtului, executate din materiale rezistente la căldură, cu masa de 600–650 g; filtrele de lumină pentru măști sunt din sticlă colorată verde-închis;
- mănuși cu cinci sau cu mai puține degete;
- șorțuri cu pieptar din piele;
- bocanci sau jambiere din piele.

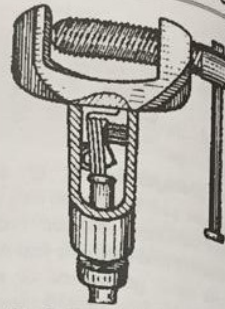


Fig. 5.10. Clemă de contact.



## 1. Materiale de adaos folosite la sudare

1. Transcrie pe caiet și completează spațiile libere:

- Materialul de adaos utilizat la.....trebuie să îndeplinească următoarele .....
- compoziția ..... să fie ..... de cea a metalului de bază sau ..... cu aceasta;
  - cordonalele de ..... realizate să aibă proprietăți ..... de cele ale metalului de bază;
  - în urma solidificării să rezulte ..... cât mai omogene, cu granulație ..... și fără constituenți fragili;
  - să corespundă, ca și metalul de ....., condițiilor de ..... în care lucrează piesa (presiune, temperatură, mediu .....
  - să fie ..... prelucrabil în procesul de .....

2. Încercuiește răspunsul corect:

După natura învelișului electrozii pot fi:

- a) cu înveliș acid (cu amestec de oxid de fier, de mangan, de siliciu și feromangan);
- b) cu înveliș gros;
- c) cu înveliș bazic (carbonat de calciu, fluorură de calciu și feroaliaje);
- d) cu înveliș mediu;
- e) cu înveliș celulozic (cu amestec de celuloză și bioxid de titan);
- f) cu înveliș titanic (cu amestec de bioxid de titan);
- g) cu înveliș special antihigroscopic, pentru sudarea în apă; conține mai mult de 50 % pulbere de fier.

3. Precizează care este enunțul corect:

La sudarea cu arc electric cu electrozi înveliți, pentru menținerea arcului și realizarea sudurii, sunt necesare următoarele mișcări ale electrodului față de piesă:

- a) mișcarea uniform rectilinie a electrodului deasupra piesei de sudat;
- b) mișcarea de apropiere a electrodului pe măsura topirii acestuia, astfel încât arcul să fie menținut la lungimea necesară (2-5 mm);
- c) mișcarea transversală, pendulară, pentru topirea marginilor de sudat și pentru obținerea lățimii necesare sudurii;
- d) mișcarea de înaintare a electrodului pe linia de sudură.

4. Precizează avantajele sudării cu electrozi înveliți.

5. Enumeră dimensiunile electrozilor înveliți.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Enumeră materialele de adaos folosite la sudarea electrică.
2. Precizează criteriile de clasificare a electrozilor.
3. Din ce este format învelișul electrozilor?
4. Care sunt funcțiile electrozilor?
5. Descrie procedeul de sudare cu arc electric cu electrozi înveliți.

### LUCRĂRI DE LABORATOR

1. Desenează, pe caiet, poziția electrodului la sudarea cu electrozi înveliți.
2. Identifică pozițiile și mișcările electrodului în planșele prezentate de profesor.
3. Identifică tipurile de electrozi înveliți după mostrele din cabinetul de specialitate.
4. Interpretează observațiile făcute în urma sudării de încărcare pentru recondiționarea pieselor uzate, efectuată în Atelierul-Școală.



## 2. Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice operației de sudare electrică

1. Stabilește răspunsul corect.
  - Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească sursa de curent la sudarea cu arc electric sunt:
    - a) să mențină curentul de sudare;
    - b) să poată funcționa timp îndelungat în regim de scurtcircuit;
    - c) să asigure trecerea rapidă din regim de scurtcircuit în regim de sarcină și invers;
    - d) să fie durabilă, ușor de întreținut și de manipulat.
2. Completează spațiile libere cu termeni adecvați:
  - La sudarea cu arc electric, se utilizează ca sursă de ..... generatoarele de ..... și ..... de sudură.
  - Transformatorul de sudură ..... curent ..... sau, în cazul în care este dotat și cu un ....., curent ..... pulsator.
3. Precizează avantajele transformatorului de sudură.
4. Care sunt criteriile de alegere a secțiunii cablului de sudură?
5. Enumeră sculele necesare sudorului.
6. Stabilește răspunsul corect.
  - Echipamentul de protecție a muncii se compune din:
    - a) ochelari de protecție;
    - b) masca și ecranul pentru protecția ochilor, a feței și a gâtului, executate din materiale rezistente la căldură, cu masa de 600–650 g; filtrele de lumină pentru măști sunt din sticlă verde-închis;
    - c) mănuși cu cinci sau mai puține degete;
    - d) șorțuri cu pieptar din piele;
    - e) bocanci sau jambiere din piele.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Enumeră condițiile pe care trebuie să le îndeplinească sursele de curent (generatorul de sudură și transformatorul de sudură) la sudarea cu arc electric.
2. Precizează rolul redresorului de curent și al oscilatorului de ionizări.
3. Precizează rolul cablurilor de sudare și al cleștelui portelectrod.
4. Definiște generatorul de sudură.

### LUCRĂRI DE LABORATOR

- Efectuează o vizită de studiu în atelierele din școală având ca obiectiv identificarea părților componente:
- a) ale convertizorului de sudură;
  - b) ale transformatorului de sudură;
  - c) ale cleștelui portelectrod.

## SUDAREA CU FLACĂRĂ DE GAZE

# 6

6.1 Gaze, materiale de adaos și fluxuri folosite la sudare

6.2 Tehnologia sudării cu flacără de gaze

6.3 Echipamente, utilaje și SDV-uri folosite la sudarea cu flacără de gaze

### COMPETENȚE ȘI DEPRINDERI

Noțiunile prezentate în acest capitol contribuie la înțelegerea fenomenelor privind:

- alegerea gazelor, a materialelor de adaos și a fluxurilor folosite la sudarea cu flacără de gaze;
- caracteristicile flăcării de gaze folosite la sudare;
- tehnologia sudării cu flacără de gaze.

### 6.1. GAZE, MATERIALE DE ADAOS ȘI FLUXURI FOLOSITE LA SUDARE

Sudarea cu flacără face parte din categoria procedeelor de sudare ce utilizează energia termochimică. Prin acest procedeu se pot suda oțelurile nealiate și aliate, fonta cenușie, metalele neferoase și aliajele lor (Al, Cu, Zn, Ni, Mg, Am, Bz etc.), precum și metalele prețioase.

Sursa de energie termică folosită pentru a încălzi local piesele la temperatura de topire o formează căldura furnizată de arderea într-un curent de oxigen a unui gaz cu putere calorică mare.

#### Gaze folosite la sudare

- **Oxigenul** este un gaz incolor, transparent, inodor și insipid. Este mai greu decât aerul (1 m<sup>3</sup> de oxigen la 15 °C și presiunea atmosferică cântărește 1,38 kg). În condiții de presiune atmosferică obișnuită, oxigenul este gazos. Prin răcire la -180 °C, se lichefiază, proprietate folosită la fabricarea sa industrială. Oxigenul lichid este transparent, cu nuanță albastruie.

Oxigenul se fabrică la purități de 97 % (tip 97), 98 % (tip 98), 99 % (tip 99).

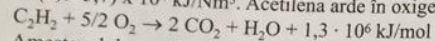
Industrial, există trei metode de fabricație a oxigenului:

- metoda chimică, prin descompunerea sărurilor oxidilor;
- metoda electrochimică, prin electroliza apei;
- metoda bazată pe distilarea fracționată a aerului lichid; este cea mai răspândită la scară industrială și se bazează pe diferența dintre temperaturile de vaporizare ale principalelor componente ale aerului lichid (O<sub>2</sub> - 183 °C; N<sub>2</sub> - 195 °C).

Oxygenul se livrează în stare gazoasă, în butelii, și în stare lichidă, în cisterne.

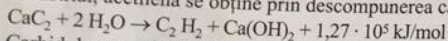
Butelia de oxygen conține oxygen comprimat la 147 daN/cm<sup>2</sup> și 15 °C și poate avea capacități uzuale de 40 m<sup>3</sup> și 50 dm<sup>3</sup>. Sunt vopsite în albastru și poartă inscripția „OXIGEN”. Butelia este confecționată din oțel-carbon de mare rezistență, iar robinetul-ventil este din alamă.

• **Acetilena** este o hidrocarbură nesaturată, aflată în stare gazoasă la temperatură ambientă și la presiune atmosferică, cu miros slab eteric, toxică, dacă este inspirată timp îndelungat. Se lichefiază la presiune atmosferică și temperatura de -80 °C. În condiții normale, 1 N/m<sup>3</sup> cântărește 1,11 kg. Este solubilă în apă (proporție 1 : 1), în alcool (1 : 5) și acetonă (1 : 25). Este instabilă la presiuni ridicate. La peste 15-16 daN/cm<sup>2</sup> devine explozibilă, proprietate care determină folosirea ei ca gaz combustibil. Puterea calorică a acetilenei este (5,6-5,7) x 10<sup>4</sup> kJ/Nm<sup>3</sup>. Acetilena arde în oxygen, cu producerea unei mari cantități de căldură:



Amestecul de acetilenă și aer este explozibil chiar și la 3% acetilenă.

Industrial, acetilena se obține prin descompunerea carbidului în contact cu apa:



Carbidul comercial se livrează în șapte tipuri granulometrice (tabelul 6.1), conținând cca 70-80% CaC<sub>2</sub>, iar restul fiind impurități.

Reacția de descompunere are loc în generatorul de producere a acetilenei, aceasta putând fi consumată de la generator sau îmbuteliată. Acetilena se îmbutelează la presiuni de maximum 16 daN/cm<sup>2</sup> la 15 °C. Presiunea acetilenei îmbuteliate variază în funcție de temperatură. Butelia de acetilenă este asemănătoare cu cea de oxygen, conținând 20 kg masă poroasă și 12 kg de acetonă, ca mediu de dizolvare. La capacitatea de 40 dm<sup>3</sup>, butelia conține cca 4 m<sup>3</sup> de acetilenă, în condiții de presiune normală. Robinetul-ventil al buteliei este din material feros, în scopul evitării formării acetilurii de cupru, substanță explozivă. Buteliile de acetilenă sunt vopsite în alb sau galben, purtând inscripția „ACETILENĂ”.

Tabelul 6.1. Tipuri granulometrice și caracteristici ale carbidului

Tip granulometric	0	I	II	III	IV	V	VI
Dimensiunea granulelor (mm)	110-80	80-50	50-25	25-15	15-7	07-4	4-2
Volum de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> dezvoltat (dm <sup>3</sup> /kg)	320	280	270	260	250	235	230
Volum ocupat de 1 kg carbid (dm <sup>3</sup> )	0,802	0,829	0,851	0,894	0,934	0,958	1,012

- **Metilacetilena-propadiena** (MAPP) este un gaz lichefiat. Vaporii acestui gaz au caracteristici apropiate de acetilenă (temperatura flăcării este de 2 925 °C). Este îmbuteliat, transportat și manipulat ca orice gaz lichefiat. Avantajul MAPP-ului îl constituie faptul că are o capacitate mai redusă de explozie în amestec cu aerul, comparativ cu acetilena, oferind, astfel, siguranță în exploatare.
  - **Metanul** are puterea calorică 3,5 x 10<sup>4</sup> kJ/Nm<sup>3</sup>, arde în amestec cu oxygenul, iar temperatura flăcării este de 2.000-2.100 °C. În amestec cu aerul, este exploziv. Se îmbutelează la 147 daN/cm<sup>2</sup>, în butelii vopsite în roșu, cu inscripția „METAN”. Se folosește la sudarea tablelor subțiri și la tăierea cu oxygen.
  - **Hidrogenul** are puterea calorică 1,05 x 10<sup>4</sup> kJ/Nm<sup>3</sup>, temperatura flăcării este de 2.000 °C și arde în oxygen. Se îmbutelează la 147 daN/cm<sup>2</sup>. Buteliile sunt vopsite în roșu-închis (brun) și au inscripția „HIDROGEN”.
- Concluzie:** Gazul cel mai utilizat pentru sudarea cu flăcără de gaze este acetilena. Prepararea acetilenei se face în instalații centralizate sau la locul de muncă, în generatoare de acetilenă portabile.

### Materiale de adaos

Pentru formarea cordonului de sudură (cusătura), este necesar, de cele mai multe ori, să se folosească materiale de adaos cu o compoziție chimică ce conferă cusăturii sudate aceleași caracteristici mecanice ca ale materialului de bază. Materialul de adaos se execută sub formă de sârmă, care se livrează în colaci sau în legături de sârme de o anumită lungime. Sârma de sudură poate avea diametre de la 0,5 la 12,5 mm.

### Fluxuri sau fondanți

Acestea sunt materiale speciale, sub formă de praf, pastă sau lichide, care au ca scop protejarea metalului topit împotriva oxidării. Aceste substanțe sau amestecuri de substanțe se adaugă la topirea unui material pentru a coborî punctul de topire al acestuia sau pentru a separa impuritățile.

### Flăcără de sudare

Pentru executarea îmbinărilor prin sudare cu gaze, sunt necesare următoarele:

- un amestec de gaze, format din oxygen și gaz combustibil;
- aparatura de sudare;
- material de adaos.

Flăcără oxiacetilenică (Fig. 6.1) se obține prin aprinderea amestecului de gaze (1), putându-se distinge următoarele zone:

- conul flăcării (2), terminat cu o zonă foarte subțire, în care temperatura se ridică brusc; regiunea cu cea mai înaltă temperatură este situată la extremitatea conului și este regiunea utilizată la sudare;
- zona reducătoare (3), unde se concentrează produsele arderii;
- zona exterioară (4), în prelungirea zonei reducătoare.

Structura și forma flăcării depind de raportul volumetric al componentelor amestecului gazos  $k = O_2/C_2H_2$ , care, în condițiile unei arderi complete, trebuie să fie unitar. Practic, în condițiile unei temperaturi de 3.100 °C,  $k = 1,1 - 1,2$ , corespunzător unei presiuni a gazelor egală cu maximum 1,5 daN/cm<sup>2</sup> pentru acetilenă și, respectiv, maxim 5 daN/cm<sup>2</sup>, pentru oxygen.

Se disting următoarele situații:

- $k = 1,2 - 1,5$ , când flăcără este oxidantă, în zonele 1 și 2 predomină oxygenul. Flăcără este redusă ca dimensiuni, arde zgomotos, este violetă pe fond albastru, ca nuanță. Este utilizată doar pentru sudarea alamelor.
- $k = 1,1 - 1,2$ , când flăcără este normală, neutră, zonele flăcării sunt perfect delimitate, iar structura și nuanța flăcării sunt constante. Este flăcără cea mai utilizată la sudarea metalelor feroase și neferoase, datorită caracterului reducător al flăcării primare și temperaturii înalte.
- $k = 0,7 - 1,0$ , când flăcără este carburantă, zonele flăcării se întrepătrund, flăcără este deformată, lungă, de culoare roșiatică. În zona primară există carbon. Flăcără se utilizează doar pentru sudarea aluminului și a fontelor, precum și la încălzirea prin sudare.

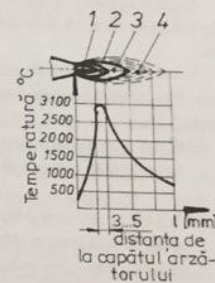


Fig. 6.1. Flăcără oxiacetilenică:  
1 - amestec de oxygen și acetilenă;  
2 - conul flăcării; 3 - zona reducătoare; 4 - zona exterioară.

### Trusa de sudare

Trusa de sudare - compusă din arzătoare de diverse mărimi, cu numere de la 1 la 7 - este prezentată în figura 6.2.

Arzătoarele de sudare se livrează în truse de sudare, pentru sudarea la grosimi de 1-30 mm; trusele cuprind și arzătoare pentru tăierea cu oxygen.

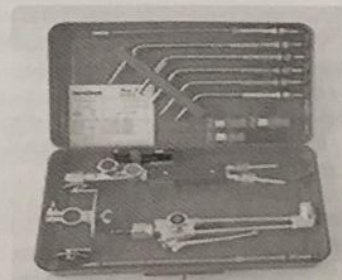


Fig. 6.2. Trusa de sudare.

## 6.2 TEHNOLOGIA SUDĂRII CU FLACĂRĂ DE GAZE

Calitatea și economicitatea construcțiilor sudate sunt condiționate de tehnologia de sudare adoptată și, în cadrul acesteia, de metoda de sudare aleasă.

Metodele de sudare sunt determinate de trei factori: *înclinarea flăcării*; *înclinarea și poziția sârmei de adaos*; *orientarea în spațiu a sudurii de executat*; acești factori determină și denumirea metodelor de sudare.

Aplicarea celor mai adecvate metode are ca rezultat obținerea unei calități superioare a cusăturii, consumuri reduse de gaze și viteze mari de sudare.

● **Sudarea spre stânga.**

Această metodă se aplică la sudarea tablelor cu grosimi de maximum 4-5 mm la oțel și de 3 mm la metale cu conductibilitate termică mai mare. Se aplică, de asemenea, atât la sudarea orizontală, cât și la sudarea în diferite alte poziții.

Arzătorul este ținut de către sudor în mâna dreaptă, iar sârma – în mâna stângă. Sudarea începe din capătul din dreapta al rostului de sudat, cusătura executându-se de la dreapta spre stânga (Fig. 6.3.). Este metoda cea mai simplă pentru sudori.

Ordinea operațiilor pentru lucru este următoarea:

- se determină consumul de acetilenă necesar, în litri/h, după relația următoare (pentru oțeluri):

$$Q = (80...120) \times s \text{ [l/h]}$$

unde  $s$  este grosimea tablelor, în mm;

- se alege mărimea arzătorului, în funcție de consumul de acetilenă;
- se alege presiunea oxigenului;
- se alege materialul de adaos, corespunzător calității materialului de bază, iar diametrul sârmei de adaos se determină în raport cu grosimea tablelor, prin relația:

$$d = \frac{s}{2} + 1 \text{ (mm)}$$

unde  $d$  este diametrul sârmei.

În timpul sudării, se imprimă mișcări de oscilații transversale atât arzătorului, cât și sârmei.

● **Sudarea spre dreapta.**

Este o metodă mai pretențioasă și se aplică în cazul tablelor mai groase de 4 mm, pentru oțel, și peste 3 mm, la metalele cu conductibilitate termică ridicată. Sudarea se execută de la stânga spre dreapta, cordonul de sudură rezultând în urma arzătorului, care are o mișcare rectilinie fără oscilații, iar sârma având o mișcare cu oscilații transversale (Fig. 6.4.).

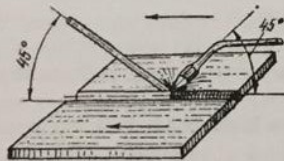


Fig. 6.3. Sudare spre stânga.

Consumul de acetilenă se calculează cu relația:

$$Q = (120-150) \times s \text{ [l/h]}, \text{ unde } s \text{ este grosimea tablei.}$$

Piesele de metal cu grosimea peste 15 mm se sudează cap în cap, în două treceri (straturi). Primul strat se execută cu o înclinare mai redusă a arzătorului (30-45°), iar al doilea, cu o înclinare mai mare (60-80°). În figura 6.5 este indicată înclinarea arzătorului  $\alpha$  în funcție de grosimea materialului  $d$ .

● **Sudarea verticală cu cusătură dublă.** Se aplică numai tablelor în poziție verticală, la care cusătura se obține vertical, de jos în sus. Sudarea se execută simultan, de doi sudori așezați de o parte și de alta a rostului (Fig. 6.6). Tablele cu grosime până la 12 mm se sudează cu marginile neprelucrate, iar de la 12 mm în sus, prelucrarea se execută în X, la 60°. Metoda este productivă și economică, deoarece căldura celor două arzătoare este mult mai bine utilizată. Piesele de grosimi cuprinse între 2 și 6 mm se pot suda și de către un singur sudor.

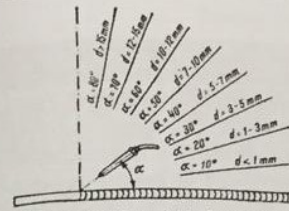


Fig. 6.5. Înclinarea arzătorului în funcție de grosimea materialului.

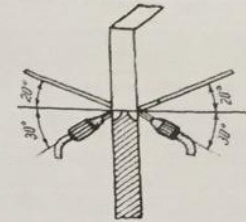


Fig. 6.6. Sudarea verticală cu cusătură dublă.

## Materiale sudabile

**Oțelurile** se sudează în funcție de conținutul de C și de elementele de aliere, după cum urmează:

- **Oțelurile cu conținut de carbon sub 0,22%** nu pun probleme la sudarea cu flacără de gaze. Pentru oțelurile cu conținut de carbon peste 0,22% C, se recomandă ca piesele să fie preîncălzite la temperaturi de 150-350 °C și menținute în timpul sudării la temperaturi apropiate; pe cusătura la roșu se vor aplica lovituri dese și ușoare de ciocan, efectuându-se o răcire încetă, iar după sudare se va executa un tratament termic de normalizare la 700-800 °C.
- **Oțelurile aliate** se sudează cu sârmă de adaos de aceeași calitate, cu recomandarea ca sudarea cu flacără să se execute numai pentru grosimi reduse. La sudare, oțelurile trebuie preîncălzite, iar după sudare trebuie supuse unui tratament termic de recoacere.
- **Oțelurile inoxidabile** (cu peste 12% Cr) se sudează folosindu-se fluxuri pe bază de fluoruri.
- **Oțelurile manganoase austenitice**, turnate în piese cu peste 1% C și cu 12% Mn, se sudează cu încălzire la 1000 °C, cu flacără carburantă, folosindu-se și praf de aluminiu, ambele pentru a se evita arderea manganului.

**Fontele** se sudează cu flacără la rece, când nu se urmărește realizarea unei etanșeități, și cu preîncălzire la 600-700 °C, folosindu-se fluxuri pentru dizolvarea oxidului de fier ce se formează și împiedică decarburarea metalului.

Piesele de fontă albă se sudează cu vergele de fontă albă (cu conținut redus de siliciu). După sudare, piesele se maleabilizează.

La sudarea fontei se folosesc arzătoare puternice, iar flacăra se reglează cu un mic exces de acetilenă.

**Metale și aliaje neferoase**

Aceste piese se sudează oxiacetilinic.

Deoarece cuprul este un metal bun conductor de căldură, pentru a grăbi procesul de sudare, la arzător se folosește un bec mai mare cu două numere decât cel care se folosește la sudarea oțelului pentru aceeași grosime a pieselor. Cuprul topit se oxidează și absoarbe gazele, ceea ce implică utilizarea unui material de adaos corespunzător și a unor fondanți care conțin fosfor (deoxidant puternic).

Piese din bronz se preîncălesc până la roșu-închis, iar după sudare se răcesc încet. Ca fondant, se utilizează boraxul. Sudarea pieselor din alamă se face ca la bronzuri. Materialul de adaos este sub formă de vergea și are în compoziție și un mic procent de aluminiu, pentru deoxidare. Ca fondant se folosește boraxul.

Sudarea aluminiului se execută în condiții speciale, deoarece aluminiul se oxidează foarte ușor. Temperatura de topire a oxizilor formați este mai mare decât temperatura de topire a metalului.

Aluminiul, ca și cuprul, este un bun conductor de căldură. În acest caz, se utilizează ca fondanți amestecuri de clorat de sodiu sau de sulfat de calciu, în scopul reducerii temperaturii de topire a oxizilor și al protejării metalului de oxidare. Vergea nu se introduce în flacără, ci se topește prin introducerea directă în baia de metal topit. Piese din aluminiu de formă complicată se preîncălesc la temperatura de 260 °C, iar după sudare se răcesc încet sau sunt supuse unui tratament de recoacere.

## Defectele de sudare, remedierea lor și controlul pieselor sudate

## Defecte

Cauzele cele mai frecvente care determină apariția unor defecte de sudare sunt determinate de tensiunile produse în procesul sudării.

Se consideră defect al sudurii orice abatere de la: continuitatea, forma, dimensiunile, aspectul exterior, structura și compoziția chimică, prescrise pentru cusătură, în normative sau caiete de sarcini, conducând la o diminuare a rezistenței mecanice a sudurii sau afectând, în mod defavorabil, comportarea în exploatare a îmbinării sudate.

Noțiunea de defect este convențională și relativă. În funcție de normativele considerate sau de condițiile tehnice contractuale, aceeași abatere poate constitui uneori un defect inadmisibil, alteori un defect admisibil sau remediabil.

Defectele pot apărea atât în sudură, cât și în zonele vecine sudurii. Cauzele apariției defectelor pot fi:

- forma constructivă necorespunzătoare a piesei;
- asamblarea greșită a elementelor supuse sudării;
- nesudabilitatea metalului de bază;
- alegerea greșită a materialului de adaos;
- aplicarea greșită a tehnologiilor de sudare;
- incompetența sau neglijența sudorului.

Sudura trebuie să aibă un aspect lucios la exterior, cu solzi mărunți, uniform repartizați, cu o formă ușor bombată, în cazul sudurilor cap la cap, și plană sau ușor concavă, în cazul sudurilor de colț. Sudura trebuie să fie de aceeași lățime pe toată lungimea îmbinării sudate.

Dintre defectele exterioare ale sudurii amintim:

- dimensiunile necorespunzătoare, cu abateri de formă, deplasări de la axa rostului, neuniformități, îngroșări (Tabelul 6.2, poz. 13, 14, 16, 17);
- treceri discontinue sub formă de creștături marginale, mușcături, scurgeri, revărsări, străpungeri (Tabelul 6.2, poz. 18 ... 24);
- cratere formate la extremitatea unui rând;
- rădăcina nesudată formată la baza rostului (Tabelul 6.2, poz. 25).

În interior, sudura trebuie să fie compactă, fără pori sau incluziuni. Ea trebuie să aibă aceleași caracteristici fizico-mecanice ca ale materialului de bază sau puțin mai mari. Zonele influențate termic nu trebuie să conțină structuri defavorabile.

Dintre defectele interioare, cel mai des întâlnite sunt:

- fisurile, care apar în zonele influențate termic; sunt defectele cele mai grave, deoarece conduc la ruperea sudurii (Tabelul 6.2, poz. 1, 2, 3, 5);
- nepătrunderile, caracterizate prin lipsă de aliere între sudură și metalul de bază (Tabelul 6.2, poz. 4, 6, 9, 10, 11, 12);
- incluziunile de gaze, care apar sub formă de sufluri sferice sau alungite (Tabelul 6.2, poz. 7, 8, 15);
- incluziunile solide, de zgură, de flux, de oxizi;
- structurile necorespunzătoare, care provin din nerespectarea regimului de sudare;
- compoziția chimică necorespunzătoare.

## Remedierea defectelor

În vederea remedierii zonelor cu defecte de sudare, suprafețele respective se prelucurează folosind arzătoare cu flacără și jet de oxigen cu putere mare, având ajutoare speciale. În felul acesta, se îndepărtează fisurile, sudurile defecte sau alte defecte de suprafață, după care locul prelucrat se resudează.

## Controlul pieselor sudate

Prevenirea și combaterea tensiunilor interne și a deformațiilor este posibilă printr-o serie de măsuri cu caracter constructiv și tehnologic, descrise în cadrul temei 3 – Sudabilitatea, subpunctul *Tensiuni și deformații la sudare*.

Pentru realizarea sudurilor de calitate este necesar să fie efectuat un control minuțios, atât preventiv, cât și în timpul execuției, după care se efectuează un control final.

**Controlul preventiv** se execută prin:

- verificarea calității materialelor folosite;

Tabelul 6.2. Defecte de sudură cu flacără de gaze

Nr. crt.	Piesa	Defect	Nr. crt.	Piesă	Defect
1		Fisuri longitudinale	14		Convexitate excesivă într-o îmbinare sudată
2		Fisuri transversale	15		Pori în formă de șir
3		Fisuri în crater	16		Suprînălțare într-o îmbinare sudată
4		Lipsă de pătrundere la o îmbinare sudată pregătită în „V”	17		Lipsă de coaxialitate
5		Fisuri radiale	18		Creștătura pe toată lungimea sudurii
6		Lipsă de pătrundere la o îmbinare sudată în unghi	19		Scobitură la sudura în cornișe
7		Sufluri în metalul depus	20		Scobitură la sudura cap la cap
8		Pori localizați în metalul depus	21		Scobitură la sudura de colț
9		Lipsă de topire la rădăcină	22		Scurgere într-o sudură cap la cap
10		Lipsă de topire laterală	23		Scurgere într-o sudură de colț
11		Lipsă de pătrundere la o îmbinare sudată cap la cap, fără pregătirea rosturilor	24		Scobitură la sudura unor table suprapuse
12		Lipsă de pătrundere la o îmbinare sudată pregătită în „X”	25		Rădăcină nesudată într-o îmbinare
13		Abateri de la unghi			

- verificarea utilajelor de sudare și a aparatelor de măsură;
- verificarea dimensională a reperelor, a rosturilor, curățarea acestora;
- verificarea sudabilității materialelor.

Controlul în timpul execuției urmărește: verificarea regimurilor corecte de sudare, verificarea depunerilor rândurilor și ale straturilor de sudură, efectuarea unor încercări mecanice ale îmbinării sudate (la tracțiune, reziliență, îndoire, duritate, oboseală).

Controlul final urmărește dacă îmbinarea este corespunzătoare și dacă nu prezintă defecte interne. Pentru cunoașterea caracteristicilor mecanice ale sudurii este necesar să se recurgă la probe distructive. Defectele interioare și calitatea îmbinării nu pot fi apreciate decât printr-un control nedistructiv.

Controlul aspectului exterior se execută după curățarea cusăturii de zgură și urmărește aspectul, dimensiunile, defectele exterioare. În acest scop se utilizează lupe, șabloane, calibre. În general, examinarea după aspect este neconcludentă și aproximativă.

Controlul interior se poate realiza cu radiații. Metoda se bazează pe emiterea unor radiații penetrante, cu lungimea de undă foarte mică. Trecând printr-un material, acestea sunt absorbite diferit, în funcție de defectul existent. La ieșire, undele sunt captate pe filme sau ecrane. În acest scop, se utilizează radiațiile Röntgen și radiațiile Y.

Controlul cu ultrasunete a căpătat, în ultimul timp, o importanță tot mai mare și este continuu perfecționat, deoarece este ieftin și nu prezintă pericolele pe care le generează radiațiile X și Y. Defectoscopia cu ultrasunete se bazează pe faptul că, la trecerea dintr-un mediu într-altul, ultrasunetele respectă legile refracției, iar când întâlnesc un obstacol ele se reflectă după legile reflexiei.

Controlul etanșității cusăturilor se execută cu petrol lampant, cu aer comprimat sau hidrolic, în funcție de importanța pieselor îmbinate în ansamblul din care fac parte și de condițiile specifice de lucru. Pentru recipiente, cazane, conducte, aparate care lucrează sub presiune, încercările se fac la presiuni de 1,5-2 ori mai mari decât presiunea de regim și se verifică dacă există scăpări de aer sau lichid.

### 6.3. ECHIPAMENTE, UTILAJE, SDV-URI FOLOSITE LA SUDAREA CU FLACĂRĂ DE GAZE

#### Echipamente, utilaje, SDV-uri

Alegerea sculelor și a dispozitivelor pentru sudarea metalelor și a aliajelor se face în funcție de procedul de sudare și de grosimea pieselor.

Mecanizarea și automatizarea producției de construcții sudate pot fi realizate numai prin utilizarea pe scară largă a diferitelor dispozitive de asamblare și de sudare. Dispozitivele utilizate pentru fabricarea construcțiilor sudate se clasifică, în funcție de scopul urmărit, în:

- dispozitive de asamblare-montare, care servesc la fixarea elementelor constructive în poziția de sudare;
- dispozitive de sudare, care servesc la realizarea cordonului de sudură în poziții optime.

Pentru sudarea oxiacetilenică sunt necesare următoarele dispozitive și accesorii:

- arzătorul pentru sudare (sau trusa de sudare);
- sursa de acetilenă, generatorul sau butelia de acetilenă;
- butelia de oxigen;
- materiale de adaos;
- reductoare de presiune pentru cele două gaze;
- furtunuri pentru conducerea celor două gaze (roșu -  $C_2H_2$ , albastru -  $O_2$ );
- diverse accesorii: ochelari de sudură, perii de sârmă, calibre, șabloane de sudură, ciocane de sudură și ciocane de lăcătușărie.

În figura 6.7. este reprezentată o instalație de sudură oxiacetilenică.

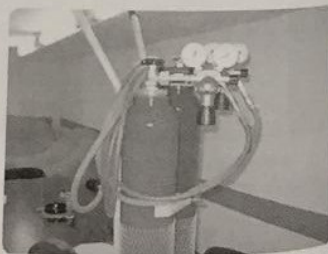


Fig. 6.7. Instalație de sudură oxiacetilenică.

### Sudarea cu flacără de gaze

#### Generatoarele de acetilenă

După presiunea de generare a acetilenei, generatoarele sunt:

- de joasă presiune ( $p < 0,3 \text{ daN/cm}^2$ );
- de presiune medie ( $p = 0,3 - 0,8 \text{ daN/cm}^2$ );
- de înaltă presiune ( $p = 0,8 - 1,5 \text{ daN/cm}^2$ ).

Un alt criteriu de clasificare îl constituie sistemul de contact dintre

- generator de sistem carbid în apă;
- generatoare apă peste carbid;
- generatoare prin contact intermitent (contact și refluxare).

Cel mai utilizat generator de acetilenă este cel din figura 6.8. Funcționează după sistemul contact și refluxare, debitează  $1,25 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , la o presiune de  $0,1-0,3 \text{ daN/cm}^2$ . După contactul carbid-apă, se produce acetilena. Crescând presiunea gazului, acesta refluxează apa de sub clopotul (2) în partea superioară a rezervorului (1), iar contactul dintre carbid și apă încetează. Pe măsura consumării acetilenei, din cauza presiunii exercitate de apă și clopot, apa pătrunde sub clopot, clopotul cu coșul (3) coboară în apă și reacția se restabilește.

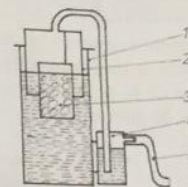


Fig. 6.8. Schema de principiu a unui generator de acetilenă: 1 - corpul generatorului; 2 - clopot; 3 - coș cu carbid; 4 - supapă de siguranță hidrolică; 5 - furtun pentru acetilenă.

#### Supapele de siguranță

Supapele de siguranță pot fi hidrolice sau uscate, de presiune mică, medie sau înaltă (la fel ca generatoarele), ele având rolul de a opri întoarcerea flăcării în generator și evacuarea unei de șoc în atmosferă.

Supapa de tip deschis, reprezentată în figura 6.9. a, se folosește pentru presiuni până la  $0,1 \text{ bar}$  ( $1000 \text{ mm H}_2\text{O}$ ), iar cea de tip închis, reprezentată în figura 6.9. b, se folosește pentru presiuni medii, până la  $1,5 \text{ bar}$ .

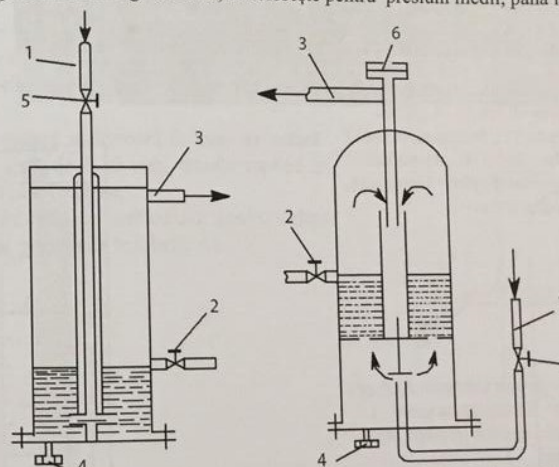


Fig. 6.9. Supapa hidrolică de siguranță: a - supapă de tip deschis; b - supapă de tip închis: 1 - țevă de admisie; 2 - robinet de nivel; 3 - racord de evacuare; 4 - gură de golire; 5 - robinet de închidere; 6 - membrană.

În cazul întoarcerii flăcării, presiunea acetilenei evacuează apa prin țevă de siguranță și, totodată, amestecul de gaze. La baza țevii de admisie (1) a acetilenei rămâne o pernă de apă, care asigură izolarea amestecului.

#### Epuratoarele

Epuratoarele sunt destinate curățării acetilenei de impurități mecanice și reținerii umidității. Pot fi de forma unor cutii cilindrice care se încarcă cu cocs sau cu bucăți mici de cărămidă. Gazul intră prin partea inferioară a epuratorului și iese prin partea superioară, de unde, prin conducte, este dirijat spre supapa de siguranță.

## Butelia de oxigen și acetilenă

Oxigenul se livrează în stare gazoasă, în butelii, și în stare lichidă, în cisterne.

Butelia de oxigen reprezentată în figura 6.10. conține oxigen comprimat la 147 daN/cm<sup>2</sup> și 15 °C, capacitățile uzuale fiind de 40 și 50 dm<sup>3</sup>. Sunt vopsite în albastru, purtând inscripția „OXIGEN”. Butelia este confecționată din oțel-carbon de mare rezistență, iar robinetul-ventil din alamă. Caracteristicile buteliei de oxigen sunt prezentate în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3. Caracteristicile buteliei de oxigen

Capacitatea buteliei (l)	Diametrul exterior (mm)	Presiunea hidrolică (bar)	Lungimea cilindrilor (mm)	Masa (Kg)	Material
30	204	300	1125	37	34CrMo4
40	229	300	1195	51,5	
50	229	300	1470	62	

Acetilena se îmbuteiază la presiuni de maximum 16 daN/cm<sup>3</sup> la 15 °C. Presiunea acetilenei îmbutate variază în funcție de temperatură. Butelia de acetilenă reprezentată în figura 6.11. este asemănătoare cu cea de oxigen, conținând 20 kg de masă poroasă și 12 kg de acetonă, ca mediu de dizolvare. La capacitatea de 40 dm<sup>3</sup>, butelia conține cea 4 m<sup>3</sup> de acetilenă, în condiții de presiune normale. Robinetul-ventil al buteliei este din material feros, în scopul evitării formării acetilurii de cupru, care este o substanță explozivă. Buteliile de acetilenă sunt vopsite în alb sau galben și au inscripția „ACETILENĂ”. Caracteristicile buteliei de acetilenă sunt prezentate în tabelul 6.4.

Tabelul 6.4. Caracteristicile buteliei de acetilenă

Capacitatea cilindrilor (l)	Cantitate acetilenă (Kg)	Presiunea de lucru (bar)	Diametrul exterior (mm)	Lungimea cilindrilor (mm)	Masa (Kg)
40	8	18	229	1250	65
50	10	18	229	1500	72

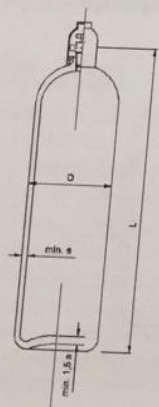
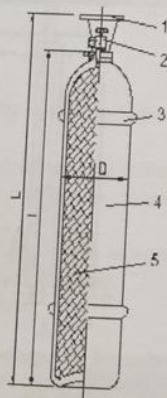


Fig. 6.10. Butelie de oxigen.

Fig. 6.11. Butelie de acetilenă:  
1 - apărătoare; 2 - robinet; 3 - inel de cauciuc;  
4 - recipient; 5 - masă poroasă.

Reductoarele de presiune au rolul de a micșora presiunea gazului din butelie, pentru a putea fi folosit la sudare. Reductoarele pot fi de două tipuri: cu acțiune directă sau cu acțiune inversă. Cele mai folosite sunt reductoarele cu acțiune inversă. În figura 6.12. este reprezentată schema constructivă a reductorului cu acțiune inversă pe principiul a două forțe opuse: forța de presare a unui arc (4), care închide admisia oxigenului, și forța de presare a unei membrane (3) acționate de presiunea oxigenului, opusă arcului, cu tendința de a deschide admisia oxigenului.

## Sudarea cu flacără de gaze

Reductorul de oxigen este folosit pentru micșorarea presiunii oxigenului din butelii, în vederea obținerii presiunii de lucru (1-15 bar) și a menținerii constante a presiunii regulate.

Oxigenul este admis din butelie prin reductorul de presiune (Fig. 6.13.), care reduce presiunea oxigenului de la 147 daN/cm<sup>2</sup> la presiunea de lucru (2-5 daN/cm<sup>2</sup>).

Reductorul de acetilenă se bazează pe același principiu de funcționare ca și cel de oxigen, cu deosebirea că presiunile sunt cu mult mai joase, iar, din punct de vedere constructiv, în locul racordului fietat (2), acesta are jug de strângere sau brida.

Caracteristicile diferitelor tipuri de reductoare sunt prezentate în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5. Caracteristicile reductoarelor

Tip gaz	Presiune intrare (bar)	Presiune lucru (bar)	Debit maxim (litri/min)	Racord intrare	Racord ieșire
Acetilenă	20	1,5		JOG	G 3/8 LH
Oxigen	200	10		G 3/4	G 1/4
Oxigen	200	20		G 3/4	G 1/4

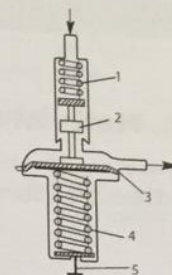


Fig. 6.12. Schema constructivă a reductorului cu acțiune inversă: 1 - arc de închidere; 2 - supapă; 3 - membrană; 4 - arc de presiune; 5 - șurub de reglare a presiunii.

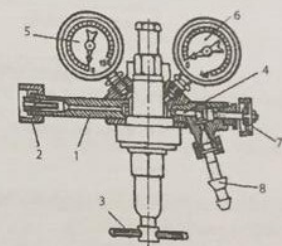


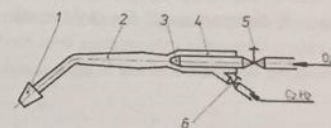
Fig. 6.13. Reductor de presiune pentru oxigen: 1 - racord de intrare; 2 - piuliță de strângere la ventilul buteliei; 3 - șurub de reglare a presiunii; 4 - canal de joasă presiune; 5 - manometru de înaltă presiune; 6 - manometru de joasă presiune; 7 - roțița robinetului de închidere a oxigenului; 8 - racord la aparatul de sudură.

## Arzătorul de sudură

Prin furtun (roșu pentru gazul combustibil, albastru pentru oxigen), gazele ajung la arzătorul de sudare (Fig. 6.14.).

Arzătoarele de sudare se livrează în truse de sudură. Pentru sudarea la grosimi de 1-30 mm, trusele cuprind și arzătoarele pentru tăierea cu oxigen.

Caracteristicile tehnice ale arzătoarelor pentru sudare din trusa sudorului sunt prezentate în tabelul 6.6.

Fig. 6.14. Arzătorul pentru sudură cu flacără oxiacetilenică:  
1 - becul arzătorului; 2 - difuzor; 3 - injector; 4 - corpul arzătorului; 5 - robinet pentru oxigen; 6 - robinet pentru acetilenă.

Tabelul 6.6. Caracteristicile tehnice ale arzătoarelor pentru sudare

Nr. arzător	0	1	2	3	4	5	6	7
Grosimea materialului sudat (mm)	0,5-1,0	1-2	2-4	4-6	6-9	9-14	14-20	20-30
Consum acetilenă (dm <sup>3</sup> /h)	75	150	300	500	750	1200	1700	2500
Consum oxigen (dm <sup>3</sup> /h)	86	175	330	550	825	1320	1850	2750
Presiune oxigen (daN/cm <sup>2</sup> )	1,5-2,0	1,8-2,5	2,5-2,8	2,5-3,0	2,8-3,5	3,5-4,0	3,8-4,5	4,0-5,0
Lungime nucleu luminos (mm)	6	8	12	15	17	19	21	25
Viteza de sudare posibilă (m/h)	12-10	8-6	6-4	4-3	3-2	2-1,5	1,5-1	1-0,75

## TEME ȘI TESTE RECAPITULATIVE



## 1. Materiale folosite la sudare

1. Încercuiește răspunsul corect. Gazele folosite la sudare sunt:

- a) acetilena;
- b) oxidul de carbon;
- c) oxigenul;
- d) metanul;
- e) bioxidul de sulf;
- f) metilacetilena-propadiena;
- g) hidrogenul.

2. Stabilește corespondența dintre cele două coloane, astfel încât să definești corect caracteristicile flăcării oxiacetilenice:

a. conul flăcării;	1. se află în prelungirea zonei reducătoare;
b. zona reducătoare;	2. este locul în care temperatura se ridică brusc;
c. zona exterioară.	3. este locul în care se concentrează produsele arderii.

3. Stabilește ordinea corespunzătoare operațiilor de lucru la sudarea spre stânga:

- a) se alege presiunea oxigenului;
- b) se alege mărimea arzătorului, în funcție de consumul de acetilenă;
- c) se alege materialul de adaos, corespunzător calității materialului de bază;
- d) se determină consumul de acetilenă necesar, în litri/h.

4. Bifează care dintre defectele enumerate mai jos apar la exteriorul sudurii:

- a) compoziția chimică necorespunzătoare;
- b) structurile necorespunzătoare, care provin din nerespectarea regimului de sudare;
- c) dimensiunile necorespunzătoare, cu abateri de formă, deplasări de la axa rostului, neuniformități, îngroșări;
- d) treceri discontinue sub formă de creștături marginale, mușcături, scurgeri, revărsări, străpungeri;
- e) cratere formate la extremitatea unui rând;
- f) rădăcina nesudată formată la baza rostului.

## FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Enumeră gazele folosite la sudarea cu flacără de gaze.
2. Precizează caracteristicile zonelor ce compun flacăra de gaze.
3. Descrie tehnicile de sudare.
4. Precizează fluxurile, fondanții și materialele de adaos folosite la sudarea oțelurilor, a fontelor, a metalelor și aliajelor neferoase.
5. Identifică defectele de interior care pot apărea la sudare: treceri discontinue sub formă de creștături marginale, mușcături, scurgeri, revărsări, străpungeri; cratere formate la extremitatea unui rând; nepătrunderile, caracterizate prin lipsa de aliere între sudură și metalul de bază; incluziunile de gaze, care apar sub formă de sufluri sferice sau alungite; incluziunile solide, de zgură, de flux, de oxizi; fisurile, care apar în zonele influențate termic și reprezintă defectele cele mai grave, deoarece conduc la ruperea sudurii.

## LUCRĂRI DE LABORATOR

1. Identifică, pe mostrele de piese sudate din laboratorul de specialitate, tehnica de sudare folosită.
2. Identifică defectele de exterior pe mostrele de piese sudate din laboratorul de specialitate.
3. Identifică fluxurile, fondanții din laboratorul de specialitate.
4. Efectuează o vizită de studiu în atelierele din școală și observă tehnicile de sudare cu flacără de gaze.



## 2. Echipamente, utilaje și SDV-uri folosite la sudarea cu flacără de gaze

1. Alege răspunsul corect. La sudarea oxiacetilenică sunt necesare:

- a) arzătorul pentru sudare (sau trusa de sudare);
- b) sursa de acetilenă, generatorul sau butelia de acetilenă;
- c) butelia de oxigen;
- d) materiale de adaos;
- e) reductoare de presiune pentru cele două gaze;
- f) furtunuri pentru conducerea celor două gaze (roșu -  $C_2H_2$ , albastru -  $O_2$ );
- g) diverse accesorii: ochelari de sudură, perii de sârmă, calibre, șabloane de sudură, ciocane de sudură și ciocane de lăcătușărie.

2. Stabilește corespondența dintre cele două coloane, referitoare la tipul de generatoare și la valoarea presiunii corespunzătoare:

a. generatoare de joasă presiune;	1. ( $p = 0,8 - 1,5 \text{ daN/cm}^2$ );
b. generatoare de presiune medie;	2. ( $p < 0,3 \text{ daN/cm}^2$ );
c. generatoare de înaltă presiune.	3. ( $p = 0,3 - 0,8 \text{ daN/cm}^2$ ).

3. Stabilește enunțul corect. După sistemul de contact dintre carbid și apă, generatoarele pot fi:

- a) generatoare de oxigen;
- b) generatoare sistem carbid în apă;
- c) generatoare apă peste carbid;
- d) generatoare prin contact intermitent (contact și refluxare).

4. Stabilește corespondența dintre cele două coloane, referitoare la tipurile de supape de siguranță și la valoarea presiunii corespunzătoare.

a. supapă închisă;	1. presiuni $\leq 0,1 \text{ bar}$ ;
b. supapă deschisă.	2. presiuni medii $\leq 1,5 \text{ bar}$ .

## FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Clasifică tipurile de generatoare de acetilenă.
2. Explică modul de funcționare a generatorului de acetilenă.
3. Descrie influența raportului dintre oxigen și acetilenă asupra flăcării oxiacetilenice.

## LUCRĂRI DE LABORATOR

1. Precizează destinația furtunurilor utilizate și identifică-le după culoare.
2. Identifică părțile componente ale arzătorului de sudură.
3. Efectuează o vizită de studiu în atelierele din școală, având ca temă: „Recunoașterea utilajelor, a SDV-urilor folosite la sudare”.

## BAZELE TEORETICE ALE TRATAMENTELOR TERMICE ȘI TERMOCHIMICE

- 7.1 Definierea și caracterizarea tratamentelor termice și termochimice
- 7.2 Tratamente termice preliminare și finale
- 7.3 Tratamente termice aplicate pieselor turnate, forjate și sudate
- 7.4 Tratamente termochimice
- 7.5 Defecte de tratament termochimic: cauze, măsuri de remediere
- 7.6 Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice tratamentelor termice

### COMPETENȚE ȘI DEPRINDERI

Noțiunile prezentate în acest capitol contribuie la înțelegerea fenomenelor privind:

- necesitatea aplicării tratamentelor termice;
- identificarea operațiilor pregătitoare, de execuție și de control necesare realizării tratamentelor termice și termochimice.

### 7.1. DEFINIREA ȘI CARACTERIZAREA TRATAMENTELOR TERMICE ȘI TERMOCHIMICE

**Tratamentele termice** sunt operații de încălzire urmate de răcire în condiții bine determinate, efectuate cu scopul de a modifica structura inițială a materialelor metalice. Multiplele scopuri pentru care sunt create și folosite instalațiile, mașinile, aparatele, utilajele etc., precum și condițiile reale de lucru au condus la necesitatea asigurării materialelor metalice cu proprietăți de valori diferite ale caracteristicilor lor mecanice, fizice și chimice. Modificarea caracteristicilor mecanice și de rezistență ale materialelor metalice la acțiunea preponderentă a diversilor agenți externi (chimici – apă care cauzează corodarea materialelor, termochimici – acțiunea apei în cazanele pentru încălzire din centralele termice, sau mecanici – cum este cazul uzării prin frecare), se poate realiza utilizând așa-numitele tratamente termice efectuate în profunzimea materialului sau la suprafața acestuia.

Tratamentele termice reprezintă mijlocul practic de influențare a structurii unui material metalic solidificat a cărui compoziție chimică a fost anterior fixată. Acest procedeu tehnologic se deosebește de alte procese tehnologice care, la rândul lor, influențează caracteristicile unui material metalic – cum este cazul operațiilor de turnare, presare, sudare, așchiere – prin faptul că nu antrenează modificarea formei sau a dimensiunilor definite anterior efectuării tratamentului termic.

Prin aplicarea de tratamente termice se urmărește realizarea acelor transformări structurale prin care să se modifice proprietățile materialului metalic în sensul dorit.

## Bazele teoretice ale tratamentelor termice și termochimice

În funcție de tratamentul termic aplicat, vom obține:

- micșorarea durtății, în scopul măririi prelucrabilității;
- mărirea durtății;
- micșorarea durtății, în scopul măririi tenacității, prin eliminarea tensiunilor interne din piese.

Datorită faptului că prin tratamente termice și termochimice se obțin caracteristici mecanice și tehnologice superioare, sculele și majoritatea organelor de mașini executate din oțeluri și fonte se întrebuințează în stare tratată.

Orice tratament termic poate fi reprezentat grafic printr-o diagramă numită *ciclu de tratament termic*, având temperatura în ordonată și timpul în abscisă (Fig. 7.1.).

Parametrii unui tratament termic sunt:

- viteza de încălzire, exprimată în  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ;
- durata încălzirii, exprimată în  $h$ ;
- temperatura de încălzire, egală cu cea corespunzătoare tratamentului termic respectiv, exprimată în  $^{\circ}\text{C}$  ( $T$ );
- durata (timpul) menținerii la  $T$ , până când între temperatura suprafeței și cea a centrului piesei există o diferență admisă, exprimată în  $h$ ;
- viteza de răcire, exprimată în  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .

Tratamentele termice se caracterizează prin faptul că lasă neschimbată compoziția chimică medie a aliajului.

În industrie, se folosesc și **tratamentele termochimice**. Tratamentele termochimice se efectuează într-un mediu activ din punct de vedere chimic, rezultatul fiind modificarea compoziției chimice a straturilor superficiale ale produsului metalic. Ele se realizează prin încălzirea pieselor în anumite substanțe care au proprietatea de a ceda atomi ce difuzează în stratul superficial al piesei. Tratamentele termochimice se aplică cu scopul de a mări fiabilitatea, fie rezistența la coroziune sau la uzură a stratului superficial, cu menținerea plasticității și a tenacității miezului.

### Clasificarea tratamentelor termice și termochimice

După scopul urmărit, **tratamentele termice** se pot clasifica în:

**a) tratamente termice preliminare (sau primare)** – au ca scop tehnologic pregătirea materialelor prin îmbunătățirea anumitor caracteristici, în vederea unor prelucrări ulterioare. Din această grupă fac parte toate tipurile de recoaceri: recoacerea de omogenizare, recoacerea de regenerare (sau completă), recoacerea de normalizare, recoacerea de recristalizare, recoacerea de detensionare, recoacerea de globulizare, recoacerea de grafitizare (numai pentru fonte).

Tratamentele termice preliminare se aplică lingourilor, pieselor turnate, pieselor forjate, pieselor sudate, pieselor prelucrate prin deformare plastică și celor care au suferit un dezechilibru mecanic în cursul prelucrării prin așchiere.

**b) tratamente termice intermediare** – se aplică pe parcursul derulării procesului tehnologic, ele se numesc și au același scop, de pregătire a materialului în vederea prelucrării ulterioare; spre exemplu, obținerea pieselor prin ambutisări succesive necesită recoaceri intermediare care alternează cu operațiile de tragere.

**c) tratamente termice finale (sau secundare)** – se aplică unor piese în urma prelucrărilor mecanice, în scopul aducerii materialului metalic la structura și la proprietățile fizico-mecanice necesare funcționării optime în exploatare. Ele cuprind *călire* și *revenire*.

În funcție de elementul în care se îmbogățește stratul superficial al piesei, **tratamentele termochimice** se clasifică în: *cementare, nitrurare, cianizare, carbonitrurare, aluminizare*.

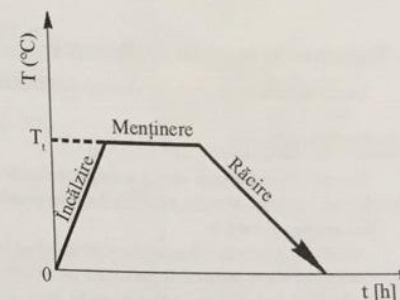


Fig. 7.1. Diagrama unui tratament termic.

## 7.2. TRATAMENTE TERMICE PRELIMINARE ȘI FINALE

## A. Tratamente termice preliminare

Din categoria tratamentelor termice preliminare fac parte recoacerile.

## Recoacerea oțelurilor

Este tratamentul termic care urmărește readucerea materialului la un echilibru fizico-chimic și structural metalic, după prelucrări mecanice sau termice, eliminând atât tensiunile interne, cât și pregătirea semifabricatelor pentru prelucrări ulterioare.

Recoacerea constă în:

- încălzirea pieselor (sau a semifabricatelor) la o anumită temperatură, denumită *temperatură de recoacere*;
- menținerea la această temperatură un anumit timp;
- răcirea lentă (în aer, cuptor, cenușă), în scopul realizării echilibrului fizico-chimic și structural.

În funcție de scopul urmărit, recoacerea poate fi: de omogenizare, de regenerare, de normalizare, de recristalizare, de detensionare, de globulizare.

## Recoacerea fontelor

Fontele se supun recoacerii fie pentru detensionare, fie pentru modificarea structurii masei metalice de bază.

## B. Tratamente termice finale

Din categoria tratamentelor termice finale fac parte călirea și revenirea.

## Călirea oțelurilor și a fontelor

Prin *călirea oțelurilor* se înțelege tratamentul termic prin care se urmărește obținerea unei stări în afară de echilibru, în care constituenții principali îl reprezintă martensita. Călirea oțelurilor constă în încălzirea acestora, astfel încât să se producă, parțial sau total, austenitizarea, urmată de o răcire bruscă, prin care să se realizeze transformarea martensitică a austenitei. Se împiedică astfel descompunerea austenitei în constituenți normali (ferită, perlită, cementită secundară). Transformarea martensitică începe la o anumită temperatură, denumită punctul  $M_s$  și se termină la o temperatură mai coborâtă, denumită punctul  $M_f$ . Poziția punctelor  $M_s$  și  $M_f$  diferă de la oțel la oțel, în funcție de compoziția chimică. În figura 7.2 este reprezentată dependența dintre poziția punctelor  $M_s$  și  $M_f$  și conținutul de carbon al oțelului. Se observă că la oțelurile cu puțin carbon (curba reprezentată cu linie întreruptă) intervalul de transformare martensitică se deplasează la temperaturi relativ ridicate. Din această cauză, în aceste oțeluri nu se poate obține martensită nedecompusă, ci numai în cazul oțelurilor cu conținut ridicat de carbon.

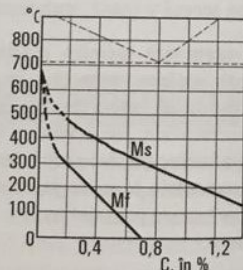


Fig. 7.2. Influența conținutului de carbon asupra poziției punctelor de transformare martensitică.

Martensita obținută prin călire este stabilă chiar și la temperatura ambiantă. Prin obținerea structurii martensitice se urmărește asigurarea unei durtăți mari.

Structura martensitică obținută prin călire poate fi pe adâncime mare, în toată secțiunea produsului (călirea volumică) sau numai în structurile superficiale, pe adâncime mică (călirea superficială).

Parametrii tehnologici de care depinde obținerea unei structuri corespunzătoare sunt:

- viteza de încălzire** – se stabilește prin încercări practice, în funcție de dimensiunile și forma piesei, precum și de structura inițială.
- temperatura de încălzire** – depinde de compoziția chimică a piesei și, pentru oțelurile-carbon, se stabilește conform diagramei din figura 7.3. Pentru oțelurile hipoeutectoide, temperatura de încălzire este superioară

cu 30–50 °C punctului  $A_{c3}$ ; pentru oțelurile eutectoide și hipereutectoide, temperatura de încălzire este superioară cu 20–40 °C punctului  $A_{c1}$ .

Pentru oțelurile aliate și înalt aliate, temperatura de încălzire se stabilește experimental, în funcție de valoarea temperaturii punctelor  $A_{c1}$  și  $A_{c3}$ , precum și de influența pe care o au elementele de aliere asupra capacității de călire a oțelului.

Notarea punctelor de transformare s-a făcut conform figurii 7.4, și anume:

- $A_0$  – transformarea magnetică a cementitei (210 °C);
- $A_1$  – transformarea perlitică (723 °C);
- $A_2$  – transformarea magnetică a feritei (769 °C);
- $A_3$  – transformarea austenită – ferită (linia GS din diagrama de echilibru Fe – C);
- $A_{cem}$  – separarea cementitei secundare (linia SE).

Și în cazul aliajelor Fe – C va exista o diferență între temperatura punctelor de transformare determinate la încălzire și la răcire; prin urmare, notațiile se completează cu literele *c*, respectiv *r*, ca de exemplu:  $A_{c1}$ ,  $A_{r3}$  etc.

**c) durata de menținere la temperatura de încălzire** – este implicată pentru uniformizarea temperaturii în secțiunea piesei și se alege din tabele, în funcție de dimensiunea și forma pieselor, de compoziția chimică a materialului și de condițiile de încălzire.

**d) viteza de răcire pentru călire** – trebuie să fie mai mare sau cel mult egală cu viteza critică de călire, care reprezintă viteza minimă de răcire la care austenita se transformă în martensită. Viteza de răcire diferă, în funcție de compoziția chimică a oțelului, în special de conținutul de elemente de aliere. Astfel, pentru oțelurile aliate, viteza critică de călire se micșorează, deoarece acestea pot avea structura numai din martensită, pe o adâncime suficient de mare a piesei, chiar și la călirea lentă în ulei. La oțelurile-carbon acest fenomen nu este posibil decât pe adâncimi mici.

Condițiile de lucru de care depinde obținerea unei structuri de călire corespunzătoare sunt: mediul de încălzire și de răcire, procedeele de călire aplicate. Oțelurile au o comportare diferită la călire, în funcție de compoziția chimică și de mărimea grăunțului de austenită. Fiecare marcă de oțel este caracterizată printr-o călibilitate proprie.

Noțiunea de *călibilitate* desemnează adâncimea de pătrundere a călirii. Astfel, oțelurile care au un conținut ridicat de carbon sau oțelurile aliate cu nichel, crom, mangan etc. se călesc pe o adâncime mare, datorită creșterii stabilității austenitei. Călibilitatea oțelurilor este influențată și de factorii legați de mediul de răcire: natura și volumul băii, temperatura ei inițială, agitarea lichidului și mișcarea piesei necesară pentru a se înlătura stratul izolator de vapori, format la introducerea piesei încălzite în apă sau în ulei.

**Călirea fontelor cenușii** urmărește îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și nu se deosebește de cea aplicată oțelurilor, transformările structurale fiind identice.

## Revenirea oțelurilor și a fontelor

După călire, oțelurile devin, în general, prea fragile și, uneori, mai dure decât este necesar. Pentru a fi exploatate în bune condiții, ele sunt supuse unui tratament termic numit *revenire*.

Ca și în cazul oțelurilor, și piesele din fontă călită sunt supuse în continuare revenirii.

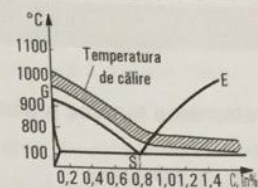


Fig. 7.3. Încălzirea oțelurilor în vederea călirii.

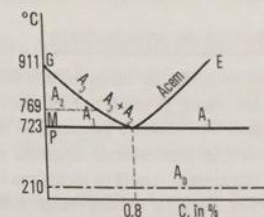


Fig. 7.4. Notarea punctelor de transformare din diagrama Fe – C.

7.3. TRATAMENTE TERMICE APLICATE PIESELOR TURNATE, FORJATE ȘI SUDATE

A) **Tratamente termice preliminare aplicate oțelurilor**

Specifice pieselor turnate, forjate sau sudate sunt tratamentele de recoacere: de omogenizare, de regenerare, de normalizare, de detensionare.  
 Produsele din oțel prelucrate prin deformare plastică la rece și oțelurile pentru rulmenți sunt supuse recoacerii de recristalizare, respectiv recoacerii de globulizare.

Recoacerea de omogenizare

Recoacerea de omogenizare se aplică produselor turnate din oțel, de dimensiuni mari, și urmărește să uniformizeze compoziția chimică a acestora. Neomogenitatea chimică (segregația) se datorează faptului că răcirea are loc la viteză mare, iar procesele de difuziune nu au timp să se producă.

Tratamentul constă în încălzirea lentă a piesei (cca 30–40 h) și menținerea acesteia cca 10–20 h la temperaturi ridicate. Acești parametri se aleg în funcție de compoziția oțelului, de dimensiunile pieselor, de gradul de neomogenitate a compoziției. Practic, temperatura de încălzire depășește cu (150–200 °C) temperatura punctului  $A_{c3}$  (Fig. 7.5).

Ținând seama de timpul necesar încălzirii și răcirii lente, de timpul menținerii la temperaturi ridicate, rezultă că durata totală a recoacerii de omogenizare este foarte mare, ceea ce face ca tratamentul să fie costisitor.

Recoacerea de regenerare sau completă

În urma prelucrării prin deformare plastică la cald, pot apărea modificări structurale concentrate prin grăunte cristalin mare (care prezintă dezavantajul că reduce rezistența la șoc) și printr-o structură neuniformă.

Recoacerea de regenerare are scopul de a înlocui grăuntele mare și structura neuniformă cu o structură cu grăunte fin și cu o distribuție uniformă a constituenților structurali.

Recoacerea de regenerare constă în încălzirea piesei la o temperatură cu 20–40 °C deasupra punctului  $A_{c1}$ , în menținerea acesteia cca 30 de min. și răcirea în cuptor la viteză mică, de cca 50–100 °C/h, până la temperatura de 600° C, după care procesul de răcire se continuă, până la temperatura mediului ambiant. Recoacerea completă se aplică și pieselor sudate, în situația în care ar apărea pericolul deformării ansamblului sudat, sub acțiunea tensiunilor produse la răcirea în aer, efectuată în cadrul recoacerii de normalizare.

Recoacerea de normalizare

Recoacerea de normalizare este, de fapt, o recoacere de regenerare (sau completă), de care se deosebește prin faptul că piesele se răcesc în aer liber.

Modificarea structurii oțelului prin normalizare este redată în figura 7.6.

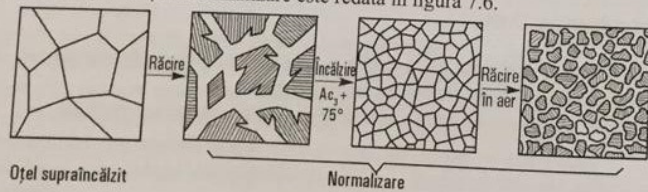


Fig. 7.6. Modificarea structurii oțelului prin normalizare.

Recoacerea de normalizare se aplică pieselor turnate, sudate sau forjate și constă în încălzirea piesei peste punctul  $A_{c3}$  cu cca 40-70 °C, în menținerea acesteia la temperaturi ridicate, în funcție de dimensiunile piesei, și răcirea în aer

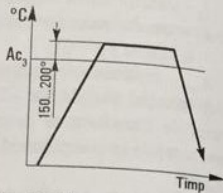


Fig. 7.5. Diagrama recoacerii de omogenizare.

limbrițit. Recoacerea de normalizare nu este indicată pentru oțelurile bogat aliate, deoarece răcirea în aer conduce la obținerea unor structuri în afară de echilibru.  
 Prin normalizare se îmbunătățesc în mod simțitor caracteristicile mecanice ale oțelului, cum sunt: limita de curgere, rezistența de rupere la tracțiune, alungirea relativă, gătuirea și reziliența.

Recoacerea de detensionare

Piesele turnate grele, cu configurație complexă și care au variații mari de grosime de perete, cât și piesele sudate, forjate sau matrițate se răcesc neuniform, ceea ce creează în piese tensiuni interne.  
 Tensiunile interne apar și în timpul operațiilor de așchiere, prin care se schimbă forma geometrică a pieselor (roți dințate, arbori cotiți etc.).

Tensiunile interne rămân în piese și după terminarea prelucrărilor respective, fapt ce dăunează calității produselor (reduc rezistența mecanică, favorizează ruپرile prin șoc). Îndepărtarea acestor neajunsuri se face prin aplicarea tratamentului de recoacere de detensionare. Tratamentul termic constă în încălzirea oțelului cu viteză mică, la temperaturi de 500–600 °C. Durata menținerii la această temperatură variază de la 0,5 h la 5 h, în funcție de material și de prelucrările anterioare.  
 Răcirea se efectuează foarte încet, cu 20–40 °C/h, până la temperatura de 100–150 °C, apoi răcirea se continuă în aer liniștit, fără curenți.

De menționat că recoacerea de detensionare se aplică pieselor finisate de mare importanță, care în funcționarea ulterioară nu trebuie să se deformeze sub acțiunea tensiunilor interne produse de prelucrare prin așchiere. În acest caz, tratamentul constă în încălzirea cu viteză mică, până la temperatura de 150–200 °C, urmată de menținerea la această temperatură și de o răcire foarte încetă (dirijată).

B) **Tratamente termice preliminare aplicate fontelor**

Recoacerea de detensionare

Această operație se aplică pieselor turnate din fontă și are scopul de a îndepărta tensiunile interne care apar în urma răcirii neuniforme și de a îmbunătăți structura inițială. Răcirea neuniformă este cauzată de variația grosimii pereților pieselor. Recoacerea de detensionare constă în încălzirea pieselor turnate la cca 500–550 °C, menținerea la această temperatură câteva ore, urmată de o răcire lentă 20–50 °C/h, până la atingerea temperaturii ambiante (Fig.7.7. a).

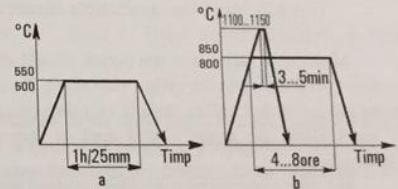


Fig. 7.7. Diagramele tratamentului termic de recoacere a fontei.

Recoacerea de înmuiere

Recoacerea de înmuiere constă în încălzirea lentă a pieselor, la temperaturi de 800–950 °C, în funcție de mărimea lor (piesele mai mari se încălzesc la temperaturi ridicate), menținerea timp de 4–8h, în funcție de mărimea pieselor, urmată de o răcire lentă, odată cu cuptorul (Fig. 7.7. b). Dacă fonta conține elemente de aliere care formează carburi (de exemplu: W, Ti), durata menținerii trebuie să fie mai mare, pentru a permite dizolvarea carburilor. Pentru a se reduce durata menținerii (doar 3–5 min), piesele se pot încălzi la temperaturi mai ridicate (1100–1150 °C), în băi de  $BaCl_2$ , (vezi curba punctată din figura 7.7 b).

Recoacerea de înmuiere favorizează grafitizarea. Prin obținerea unei cantități mari de grafit lamelar, proprietățile mecanice scad, în vreme ce prelucrabilitatea prin așchiere crește.

Recoacerea de normalizare

Recoacerea de normalizare are scopul de a mări duritatea pieselor din fontă cenușie care au structuri ferito-perlitice, prin creșterea proporției de perlită din structură. Recoacerea de normalizare se realizează prin încălzirea pieselor la 850–900 °C, menținerea timp de 1–3 h, urmată de o răcire lentă în aer. Cu cât menținerea este mai îndelungată, cu atât rezultatele sunt mai bune, fonta ajungând la o structură cu masa de bază complet perlitică.

### Recoacerea de grafitizare

Recoacerea de grafitizare (de maleabilizare) se aplică fontelor albe și are scopul de a le îmbunătăți caracteristicile mecanice.

Prin recoacerea de grafitizare (maleabilizare), piesele fragile și dure din fontă albă devin rezistente și mai plastice. Se obțin, astfel, așa-zisele fonte maleabile, la care cementita se descompune, parțial sau total, în ferită (Fig. 7.8.), respectiv în grafit și perlită (Fig. 7.9.). Operația de maleabilizare se realizează prin încălzirea pieselor la temperaturi de 900–950 °C, menținerea la această temperatură un timp îndelungat, urmată de răcire până la atingerea temperaturii mediului ambiant.

Ciclu de maleabilizare poate să dureze în jur de 140–160 h pentru fontele maleabile cu miez negru și 120–140 h pentru fontele maleabile cu miez alb.

### © Tratamente termice finale aplicate oțelurilor

#### Călire. Procedee de călire

**a) Călire obișnuită** (călire într-un singur mediu). Acest procedeu de călire se aplică pieselor mici, cu forme simple, fără variații mari de secțiune, executate din oțel carbon cu mai puțin de 0,8% C sau slab aliate. Folosirea acestui procedeu la piesele din oțel carbon cu mai mult de 0,8% C duce la apariția tensiunilor interne mari, care ușurează formarea fisurilor. Acest procedeu constă în răcirea rapidă a piesei într-un mediu care asigură o viteză de răcire mai mare decât cea critică (Fig. 7.10., curba 1).

Mediile de răcire sunt apa pentru piesele din oțel-carbon, și uleiul pentru piesele din oțeluri slab aliate. Procedeu prezintă dezavantajul că pot apărea defecte de călire (fisuri, deformații) în piesa călită, din cauza vitezei mari de răcire în domeniul martensitic.

**b) Călire întreruptă sau călire în două medii**

Procedeu se aplică pieselor executate din oțel-carbon de scule (OSC7 ... OSC11), răcirea piesei realizându-se în două etape:

- la început se folosește un mediu de răcire (apa), care asigură o răcire energetică cu viteză  $v_2$ ;
- când temperatura a ajuns aproape la valoarea punctului martensitic  $M_s$ , se continuă răcirea într-un alt mediu (ulei mineral), care asigură o viteză de răcire  $v_2 < v_2$ . Se evită astfel transformarea tensiunilor interne mari, în timpul transformării martensitice (Fig. 7.10., curba 2).

**c) Călire în trepte** constă în răcirea pieselor tot în două medii, la care răcirea inițială se efectuează cu o viteză superioară celei critice, într-un mediu cald (băi de săruri), la o temperatură constantă, superioară cu 20–30 °C punctului martensitic  $M_s$ . Piese se mențin în

### Bazele procedeele de prelucrare la cald



Fig. 7.8. Fontă maleabilă cu miez negru (ferită și grafit).



Fig. 7.9. Fontă maleabilă cu miez alb (perlită și grafit).

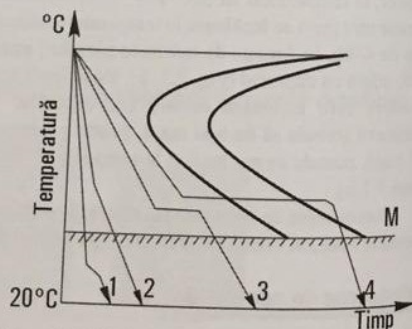


Figura 7.10. Curbe de răcire pentru diferite metode de călire.

### Bazele teoretice ale tratamentelor termice și termochimice

acest mediu un timp suficient pentru uniformizarea temperaturii în masa piesei, dar mai scurt decât cel necesar pentru începerea transformării izoterme de răcire, după care răcirea se continuă în al doilea mediu (ulei, aer), procedeu de răcire, oțelul rămâne cu structura austenitică netransformată în primul mediu de răcire, călire (transformarea martensitică) producându-se în cel de-al doilea mediu de răcire. În acest fel, tensiunile care apar sunt mici. Sunt astfel evitate rebaturile datorate crăpăturilor. Procedeu se aplică acolo unde există pericolul de deformare și crăpare, în special la oțelurile pentru scule și bogat aliate, precum și la piese cu variații mari de secțiune.

**d) Călire izotermă** se aplică atât oțelurilor de construcție, cât și oțelurilor pentru scule. Viteza de răcire este superioară vitezei critice și se realizează mai întâi într-un mediu cald, cum ar fi băile de săruri, având temperatura cuprinsă între 450 °C și temperatura punctului  $M_s$ . Piesa se menține la această temperatură un timp îndelungat (câteva ore), timp în care austenita se transformă în întregime în bainită. Urmează apoi răcirea într-un alt mediu (apa, aer), până la temperatura mediului ambiant, cu o viteză ce depinde de dimensiunile piesei (Fig. 7.10., curba 4). Deoarece transformarea bainitei se realizează la temperatură constantă, tensiunile interne sunt foarte necesară.

**e) Călire la temperaturi joase (sub 0 °C)**  
Oțelurile-carbon cu un conținut de peste 0,6 % carbon și oțelurile aliate au punctul  $M_s$  (sfârșitul transformării martensitice) situat la temperaturi sub 0 °C și deci la o călire obișnuită rămâne în structură o cantitate de austenită reziduală cu atât mai mare, cu cât punctul  $M_s$  este mai coborât. Pentru descompunerea austenitei reziduale se aplică o răcire într-un mediu cu temperatura mai scăzută (amestec refrigerent cu temperatura de circa -60 °C). Tratamentul se aplică pieselor de mare precizie ale aparatelor de măsură și control, rulmenților care trebuie să prezinte stabilitate dimensională, cât și în scopul mării durezza și rezistenței la uzură a sculelor din oțel rapid.

**f) Călire superficială** se aplică pieselor greu solicitate (roți dințate, came etc.), executate din oțel cu 0,35–0,5 % carbon, care trebuie să fie dure numai la suprafață, miezul trebuind să fie tenace, pentru a rezista la șocuri. Procedeu constă în încălzirea rapidă a stratului superficial al piesei la temperatura de călire (peste punctul  $A_{C_3}$ ), în timp ce miezul piesei rămâne la temperaturi mai joase, urmată imediat de o răcire rapidă, realizată, de obicei, cu ajutorul unui duș de apă rece. Se obține astfel un strat superficial dur, rezistent la uzură, în timp ce miezul va păstra structura inițială. Datorită miezului tenace, piesele rezistă la solicitări variabile. Călire superficială a pieselor se poate realiza prin: inducție, cu curenți de înaltă frecvență (C.I.F.), și prin contact.

#### • Călire prin inducție

Principiul acestei metode se bazează pe curenți induși și constă în faptul că, la trecerea unui curent de înaltă frecvență printr-un inductor (Fig. 7.11), în interiorul spirelor acestuia se creează un câmp electromagnetic care induce în piesa situată în acest câmp o tensiune electromotoare și un curent de aceeași frecvență, dar de sens contrar. Cu cât frecvența curentului este mai mare, cu atât curentul va străbate numai straturile superficiale ale piesei, încălzindu-se deasupra punctului de transformare  $A_{C_3}$  cu 100–150 °C.

Se observă că, la călire prin inducție, temperatura de încălzire este ceva mai înaltă decât la călire obișnuită, unde se situa cu 20–30 °C peste punctul de transformare  $A_{C_3}$ . Cu toate acestea, nu se produce o creștere a grăunțului, datorită vitezei mari de încălzire și timpului scurt de menținere la temperatura de călire.

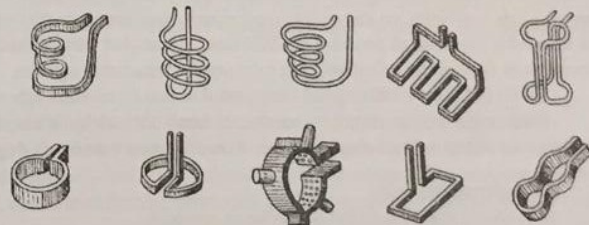


Fig. 7.11. Diferite tipuri de inductori.

#### • Călire electrică prin contact

Procedeu constă în încălzirea superficială a piesei, prin rezistența de contact dintre piesă și electrod (Fig. 7.12.). Piesa execută o mișcare de rotație, fiind legată la circuitul secundar al unui transformator electric  $U = 2 - 4 \text{ V}$  și  $I = 100 - 15.000 \text{ A}$ .

Prin trecerea curentului electric de la electrod la piesă, pe suprafața de contact apare o densitate mare de curent, datorită efectului Joule-Lenz, care încălzește straturile de suprafață într-un timp scurt. Procedul realizează o trecere treptată de la zona călită la cea necălită. La piesele mici, răcirea pentru călire se realizează în medii de răcire lichide, iar la piesele mari, răcirea se realizează prin însăși masa metalică a piesei care, la încălzire, rămâne rece, devenind mediu de răcire pentru straturile superficiale încălzite.

### Revenirea

Oțelurile sunt, în general, prea fragile și, uneori, mai dure decât este necesar. Pentru a fi exploatare în bune condiții, ele trebuie supuse unui tratament termic numit revenire.

Revenirea constă în încălzirea oțelurilor la temperaturi inferioare punctului de transformare  $A_{c1}$ , urmată de o răcire relativ rapidă, în apă sau în ulei.

Prin revenire, oțelul călit trece repede într-o stare mai apropiată de echilibru, structura sa conținând constituenți cu proprietăți noi, precum: martensita de revenire, troostita de revenire, sorbita. În urma tratamentului termic de revenire, oțelul devine mai tenace, duritatea acestuia se micșorează, iar rezistența la tracțiune și la șoc (reziliența) crește.

#### Factori care influențează revenirea

Revenirea depinde de trei factori principali, și anume :

- starea inițială a oțelului călit;
- temperatura de revenire;
- durata de menținere.

În ceea ce privește primul factor, este evident faptul că produsele formate prin revenire sunt influențate de starea inițială a aliajului călit (existența martensitei, a austenitei etc.). Dacă oțelul conține și constituenți formați în alt interval de transformare, în cursul unor căliri incomplete (perlita, ferita, troostita, cementita), acești constituenți vor suferi variații ale dimensiunilor și ale formei.

Temperatura de încălzire influențează proprietățile oțelului revenit, proprietăți determinate de natura constituenților structurali. Prin încălzirea oțelului călit până la  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se obține o structură constituită din martensita de revenire, provenită fie prin transformarea martensitei de călire, fie prin transformarea austenitei reziduale.

Încălzirea oțelului în continuare, între  $300\text{ și }400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , determină formarea troostitei de revenire. Între  $500\text{ și }650\text{ }^{\circ}\text{C}$  se formează sorbita de revenire, care are duritatea mai mică decât troostita de revenire. La încălzirea între  $600\text{ și }700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cementita are formă globulară și substituentul poartă numele de perlită cu cementită globulară. Cu cât temperatura de revenire este mai înaltă, cu atât se obțin mai repede constituenți cu structura mai apropiată de starea de echilibru. Durata de menținere favorizează procesul de difuziune, influențând caracteristicile oțelului. Astfel, menținerea îndelungată la temperatura de revenire influențează în mod pozitiv tenacitatea oțelului.

Un alt factor care influențează tratamentul termic de revenire este viteza de răcire la revenire.

Răcirea are loc, de obicei, în aer sau, în cazul unor oțeluri aliate, în ulei, deoarece la o răcire mai lentă (în aer) prezintă o reziliență scăzută după revenire. Acest fenomen este numit *fragilitate de revenire*.

#### Procedee de revenire

În practică, se întâlnesc trei procedee de revenire:

- revenirea joasă**, pentru care temperatura de încălzire este de până la  $180\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La această temperatură se obține o structură de martensită de revenire, al cărei aspect inițial se menține. Se obțin piese cu duritate mare, însă o mare parte din tensiunile interne sunt îndepărtate. De aceea, se mai numește și *detensionare*. Se aplică sculelor care trebuie să aibă duritate mare.
- revenirea medie**, pentru care încălzirea piesei se face la  $250\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Comparativ cu revenirea joasă, în cazul revenirii medii, piesele au o duritate mai mică și o elasticitate mare. Se aplică pieselor care trebuie să fie elastice în exploatare (arcuri și bușe extensibile).

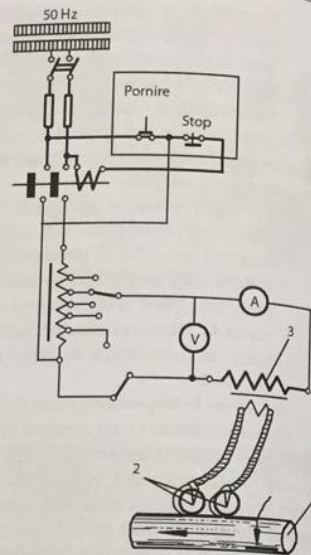


Fig. 7.12. Schema instalației de călire superficială prin contact: 1- piesă călită; 2- role; 3- secundarul transformatorului.

c) **revenirea înaltă** constă în încălzirea pieselor călite la temperaturi între  $450\text{ și }650\text{ }^{\circ}\text{C}$ . În urma aplicării acestui procedeu, se obțin piese care prezintă cea mai bună asociere de caracteristici mecanice (rezistența la rupere, limita de curgere și tenacitatea au valori maxime).

Revenirea înaltă se aplică arborilor, bieților, buloanelor etc. Tratamentul termic constituit din călire, urmată de o revenire înaltă, poartă denumirea de *îmbunătățire*.

### Tratamente termice finale aplicate fontelor

#### Călirea

Călirea aplicată fontelor cenușii urmărește îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și nu se deosebește de cea aplicată oțelurilor, transformările structurale fiind identice.

Acest procedeu se aplică fontelor moi, fontelor feritice și perlito-feritice.

Călirea constă în încălzirea pieselor la temperatura de  $900\text{--}950\text{ }^{\circ}\text{C}$ , în menținerea lor la această temperatură timp de  $2\text{--}3$  ore, urmată de răcirea bruscă în ulei. Rezultate bune se obțin prin aplicarea călirii izoterme, care constă în încălzire la  $850\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$  și răcire în baia de săruri, la  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , apoi în aer. Se obțin piese cu duritate de  $350\text{ HB}$  și, deci, cu rezistență mare la uzură.

#### Revenirea

Ca și în cazul oțelurilor, piesele din fontă călită se supun în continuare revenirii.

Temperaturile la care se efectuează revenirea depind de rezultatele urmărite și sunt întotdeauna situate sub punctul critic  $A_{c1}$ . În cazul în care se urmărește păstrarea constituenților de călire, revenirea se efectuează la temperaturi joase ( $150\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Se îndepărtează astfel tensiunile remanente de călire, iar piesele prezintă o bună rezistență la uzură. Revenirea medie, la  $400\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se aplică pieselor care trebuie să prezinte o bună elasticitate (segmentii de piston).

### Tratamentele termice ale metalelor și ale aliajelor neferoase

Dintre metalele și aliajele neferoase, cele mai importante, din punctul de vedere al tratamentelor termice, sunt: cuprul, aluminiul, magneziul și aliajele acestora.

Aliajele neferoase permit o gamă mult mai restrânsă de tratamente termice, din cauza faptului că, în general, aceste aliaje nu prezintă transformări în stare solidă. Singurul tratament termic care se poate aplica oricărui aliaj este *recoacerea*. Astfel, aliajele neferoase pot fi supuse recoacerilor de omogenizare, de detensionare, de recristalizare.

Recoacerea de recristalizare se aplică produselor obținute prin deformare plastică la rece și constă în încălzirea materialului până la o anumită temperatură, menținerea lui la această temperatură un timp și apoi răcirea în cuptor sau în aer. Prin recoacerea cuprului trefilat la rece, se obține un cupru moale, care are o conductibilitate electrică mărită. Un număr relativ scăzut de aliaje neferoase, și anume cele pe bază de aluminiu și unele pe bază de magneziu, pot fi supuse și tratamentelor termice de călire și revenire. Tratamentul termic constă în încălzirea piesei la temperatura de  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ , urmată de o răcire rapidă în apă. După călire, se aplică o revenire la temperaturi alese în funcție de caracteristicile mecanice necesare.

#### Călire și îmbătrânirea

Atunci când sunt supuse încălzirii și răcirii, aliajele pe bază de aluminiu suferă numeroase transformări de fază.

De exemplu, la aliajele aluminiu - cupru, încălzite la temperaturi corespunzătoare și apoi răcite brusc în apă, procesul de separare a fazei în exces ( $\text{CuAl}_2$ ) din soluția solidă nu se mai produce. Deci, soluția solidă este suprasaturată, nestabilă. Datorită acestei instabilități în aliaj, au loc transformări structurale de descompunere treptată a soluției solide suprasaturate, transformări care măresc rezistența de rupere și duritatea aliajului. Aceste transformări constituie fenomenul de îmbătrânire. Când îmbătrânirea are loc la temperatura obișnuită, avem de-a face cu o îmbătrânire naturală, iar când se realizează prin încălzire la temperaturi joase, ea se numește îmbătrânire artificială. Îmbătrânirea naturală durează cea 7-10 zile, iar îmbătrânirea artificială se realizează în câteva ore. Așadar, durificarea unui aliaj neferos se poate realiza numai în anumite situații și constă, de fapt, în trei etape, și anume: încălzirea aliajului; călire; revenirea.

### F Defecte de tratament termic: cauze, măsuri de remediere

În general, defectele întâlnite la piesele sau semifabricatele supuse tratamentelor termice sunt cauzate de nerespectarea condițiilor tehnice impuse de procesul tehnologic.

Astfel, se întâlnesc *defecte de încălzire* – arderea, supraîncălzirea, oxidarea și decarburarea, formarea unor zone moi – și *defecte de răcire* – formarea unor zone moi, fisuri (crăpături), deformații.

**Arderea** oțelului se datorează menținerii un timp îndelungat la temperaturi situate în apropierea punctului solidus (Fig. 7.13., zona 1) și se manifestă prin topirea impurităților separate și prin pătrunderea oxigenului din atmosfera cuptorului în golurile formate, oxidând aceste zone. Oțelul ars nu poate fi regenerat prin tratament termic, piesa respectivă fiind rebutată și utilizată numai pentru retopire.

**Supraîncălzirea** apare din cauza încălzirii oțelului la temperaturi înalte și a menținerii la aceste temperaturi un timp îndelungat (Fig. 7.13., zona 2).

Supraîncălzirea are ca efect creșterea exagerată a grăunților oțelului, cu influență negativă asupra proprietăților mecanice. Remedierea se realizează printr-un tratament termic de normalizare.

**Oxidarea** și decarburarea pieselor din oțel sau fontă se produc atunci când piesele se încălzesc în cuptoare cu flacără. Ele capătă la suprafață un strat de oxid, care face ca piesa să nu mai corespundă scopului pentru care a fost fabricată. Pentru a remedia acest defect, este necesar ca, din proiectare, piesele să fie prevăzute cu un adaos de prelucrare, care se îndepărtează prin rectificare. Prevenirea oxidării este posibilă prin utilizarea cuptoarelor cu atmosferă controlată, a instalațiilor electrice prin inducție, a băilor metalice, a băilor de săruri.

**Decarburarea** reprezintă micșorarea conținutului de carbon în stratul superficial al piesei sau semifabricatului și, deci, înrăutățirea proprietăților mecanice în acest strat.

Pentru evitarea apariției decarburării se vor respecta temperatura de încălzire și durata de menținere în cuptor a pieselor (semifabricatelor).

**Formarea zonelor moi** poate avea loc dacă oțelul nu a fost încălzit uniform sau dacă temperatura de călire sau de răcire nu s-a obținut suficient de rapid. Zonelor moi fac ca structura oțelului să fie neomogenă după călire. Prevenirea defectului este posibilă prin respectarea parametrilor procesului tehnologic.

**Fisurile** (Fig. 7.14.) pot apărea în piesă în momentul călirii sau după efectuarea acesteia, fie din cauza calității proaste a metalului, fie din cauza încălzirii neuniforme. Prevenirea fisurării se poate realiza prin respectarea parametrilor tehnologici prescriși.

**Deformațiile** (încovoierea) apar din cauza variațiilor bruște de volum ale piesei. Prevenirea deformării se realizează prin respectarea prevederilor tehnologice, în ceea ce privește poziția de introducere a pieselor în baia de răcire.

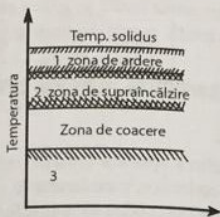


Fig. 7.13. Zona de încălzire a oțelului, în vederea tratamentului termic de recoacere.

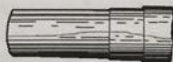


Fig. 7.14. Fisură într-o piesă călită.

## 7.4. TRATAMENTE TERMOCHIMICE

### A Scopul aplicării tratamentelor termochimice

Tratamentele termochimice sunt tratamente termice realizate într-un mediu chimic. Aceste procedee provoacă atât modificări structurale, cât și modificări ale compoziției chimice ale straturilor superficiale în materialul tratat, ca urmare a îmbogățirii acestora cu unul sau mai multe elemente chimice aflate în mediul în care se efectuează tratamentul.

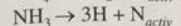
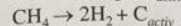
Tratamentele termochimice se aplică cu scopul de a mări fiabilitatea, rezistența la coroziune sau la uzură a stratului superficial, cu menținerea plasticității și a tenacității miezului.

### B Procedee fizico-chimice care stau la baza tratamentelor termochimice

În desfășurarea unui tratament termochimic se disting următoarele etape:

#### • disocierea

Pentru ca elementul chimic care interesează să poată pătrunde în materialul piesei tratate, este necesar ca el să se găsească în stare de atomi activi. Acest lucru se realizează prin descompunerea termică a moleculelor mediului, după cum urmează:



#### • adsorbția

Atomii activi, rezultați în procesul de disociere a moleculelor mediului, vin în contact cu atomii aflați pe suprafața metalului tratat. Întrucât capacitatea de atracție a atomilor superficiali este numai parțial satisfăcută, atomii activi vor fi atrași de cei ai metalului și se vor acumula pe suprafața piesei tratate (Fig. 7.15.).

#### • difuziunea

Atomii adsorbiți la suprafața piesei difuzează spre interiorul ei. Fenomenul de difuziune se supune unei serii de legi care permit stabilirea modului în care are loc transferul de materie și a factorilor care îl influențează.

Astfel, cantitatea de substanță care a difuzat este direct proporțională cu suprafața secțiunii transversale, cu gradientul de concentrație în direcția difuziunii și cu timpul.

Tratamentele termochimice se aplică în industrie, în cea mai mare măsură aliajelor Fe-C și, în special, oțelurilor. În funcție de elementul în care se îmbogățește stratul superficial al piesei, tratamentele termochimice se clasifică în: cementare, nitrurare, cianizare, carbonitrurare, aluminizare.

### Cementarea

**Cementarea** este tratamentul termochimic de îmbogățire cu carbon a straturilor superficiale ale pieselor din oțel cu conținut scăzut de carbon. Acest tratament constă în încălzirea oțelurilor la o anumită temperatură, imediat superioară punctului  $A_{c3}$  (cca 900–920 °C, pentru oțelurile cu conținut mic de carbon), într-un mediu capabil să cedeze carbon.

Oțelurile supuse cementării se numesc oțeluri de cementare și au un conținut de carbon cuprins între 0,08 și 0,2% (max. 0,25%, pentru piese mari). Stratul cementat atinge un procentaj de carbon cca 0,9%.

Mediul care cedează elementul de difuziune, carbonul, se numește *mediu carburant* și poate fi în stare solidă, gazoasă și, mai puțin utilizat, în stare lichidă.

#### • Cementarea în mediu solid

Cementarea în mediu solid se produce într-un mediu bogat în carbon, de exemplu mangal, în prezența unor substanțe care activează procesul de carburare (carbonat de bariu, carbonat de sodiu etc.).

Cementarea (Fig. 7.16.) se realizează prin împachetarea pieselor de oțel (1) în amestecul de cimentare (3), în cutii de oțel (4), care se introduc în cuptor și se încălzesc la temperatura de cementare. În cutie se mai află epruvetele-martor (2) și epruvetele de control (6). Peste amestecul de cimentare, se depune un strat de argilă (5).

Un mediu carburant se folosește de mai multe ori, dar, de fiecare dată, se adaugă 15–20% cărbune proaspăt, iar, uneori, și 4–5% carbonat de sodiu sau de bariu.

Rezultatul operației de cementare depinde de: compoziția chimică a oțelului de cimentat, compoziția mediului carburant, temperatura și durata de cementare.

#### • Cementarea în mediu gazos

Cementarea în mediu gazos se realizează prin trecerea unui gaz, din care se poate degaja carbon în stare atomică, în spațiul în care se află piesele ce urmează să fie cementate. Ca medii de cementare, se folosesc gaze naturale (gazul

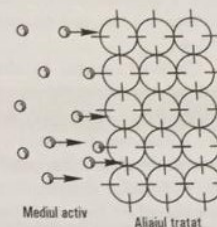


Fig. 7.15. Adsorbția.

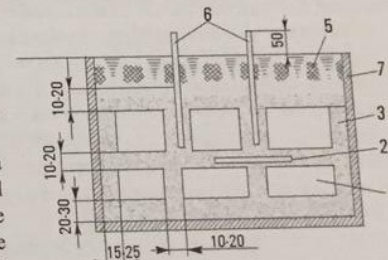


Fig. 7.16. Cementarea în mediu solid.

metan) și gaze preparate artificial (gazul de iluminat, gazul de cocserie, gazele de cracare) care conțin CO, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, în prezența unei cantități însemnate de H<sub>2</sub>O. Cel mai bun este gazul metan. În acest caz, carburarea are loc când metanul s-a disociat în carbon atomic și H<sub>2</sub>: CH<sub>4</sub> → 2H<sub>2</sub> + C<sub>activ</sub>.

Carbonul rezultat din disociere trebuie să difuzeze treptat în oțel. Dacă degajarea carbonului este prea intensă și depășește viteza de difuziune a acestuia în oțel, pe suprafața piesei se depune carbon sub formă de negru de fum. Difuziunea este astfel îngreuiată, deoarece stratul de negru de fum micșorează contactul dintre piesă și faza gazoasă. Pentru prevenirea acestui neajuns, în practica industrială se folosește sistemul diluării gazului metan care urmează să fie disociat. Diluarea se face fie cu propriile sale produse de ardere, fie cu alte gaze mai puțin bogate în carbon.

La cementarea cu gaze, temperatura este puțin mai înaltă decât la cea cu mediu solid, și anume de 900–950 °C. După cementare, piesele se supun unui dublu tratament termic, deoarece piesa este constituită din două straturi de oțel diferite: miezul din oțel cu conținut scăzut de carbon și stratul superficial bogat în carbon (Fig. 7.17.). După răcirea în cutia de cementare (Fig. 7.18., curba 1), se aplică o călire a miezului (Fig. 7.18., curba 2), constând dintr-o încălzire la o temperatură de cca Ac<sub>2</sub> + 50 °C, urmată de o răcire rapidă în apă. Se obține astfel o regenerare a structurii, care, în urma încălzirii îndelungate la temperatura de cementare, devenise grosolană și fragilă.

Stratului cementat i se aplică un tratament de călire în apă (Fig. 7.18., curba 3), după o încălzire la cca 800 °C (punctul A<sub>3</sub> al oțelului bogat în carbon este de cca 750 °C). În vederea călirii stratului cementat, încălzirea provoacă și o ușoară revenire a miezului. Se obține astfel o piesă având o duritate superficială mare și un miez ce conservă o rezistență ridicată.

Pentru diminuarea tensiunilor interne, se poate aplica o revenire joasă (Fig. 7.18., curba 4), printr-o încălzire la cca 150...180 °C.

### Nitrurarea

**Nitrurarea** este tratamentul termochimic care constă în îmbogățirea cu azot a stratului superficial al pieselor de oțel. Nitrurarea oțelului sau a fontei se poate efectua în mediu solid, lichid sau gazos. În industrie, se folosește frecvent nitrurarea în mediu gazos.

Pentru aceasta, piesele se încălzesc la temperaturi inferioare punctului Ac<sub>1</sub> (cca 525 °C), într-un curent de amoniac gazos. Prin disocierea amoniacului (NH<sub>3</sub> → 3H + N<sub>activ</sub>), azotul activ este adsorbit de fier, formând nitruri dure, care explică creșterea durității în stratul superficial. În funcție de durata tratamentului, care poate varia de la câteva ore până la câteva zile, grosimea poate ajunge până la cca 0,8 mm. Duritatea stratului nitrurat ajunge la HV = 1200 daN/mm<sup>2</sup>, aceasta fiind cea mai mare valoare ce se poate obține printr-un tratament termic sau termochimic.

Spre deosebire de cementare, nitrurarea este precedată, dar nu este urmată, de un alt tratament termic.

Nitrurarea este însoțită de o ușoară umflare a suprafeței tratate, ceea ce obligă la corectarea dimensiunilor obținute în urma prelucrărilor mecanice.

Răcirea de la temperatura de nitrurare se efectuează în cuptor, astfel încât în oțel să nu se producă tensiuni de contracție.

### Carbonitrurarea

**Carbonitrurarea** este un tratament termochimic asemănător cianizării, însă efectuat într-un mediu gazos, capabil să cedeze carbon și azot activ.

Mediul gazos folosit la carbonitrurare este compus din 70–75% gaz metan și 20–25% amoniac. Gazul metan se introduce în cuptor direct din conducta de gaze, iar amoniacul, din butelia de amoniac.

Carbonitrurarea se poate executa la temperaturi joase (500–600 °C) sau la temperaturi înalte (840–860 °C).

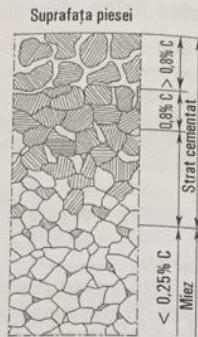


Fig. 7.17. Structura stratului cementat.

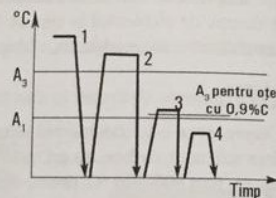


Fig. 7.18. Tratamente termice aplicate oțelului cementat.

**Bazele teoretice ale tratamentelor termice și termochimice**

Carbonitrurarea la temperaturi joase se aplică oțelurilor rapide, în vederea măririi durabilității sculelor. Carbonitrurarea la temperaturi înalte se aplică diferitelor organe de mașini, ca: arbori, roți dințate, tacheți etc. Prin carbonitrurare se realizează o duritate mare și o rezistență bună la uzură și la coroziune a stratului superficial.

## 7.5. DEFECTE DE TRATAMENT TERMOCHIMIC: CAUZE, MĂSURI DE REMEDIERE

În cazul tratamentelor termochimice, eventualele defecte pot apărea din cauza nerespectării parametrilor tehnologici și a compoziției mediului.

Tabelul 7.1. Defectele stratului carburat

Denumirea defectului	Cauza apariției	Modalitatea de înlăturare
Structură anormală	Apare ca urmare a dezoxidării oțelului la topire și a oxidării interne, care duce la formarea de oxizi ai elementelor de aliere.	Utilizarea oțelurilor cu elemente de aliere care au o tendință redusă la formarea oxizilor.
Distribuirea stratului	Apare la răcirea în aer sau când potențialul de carbon a fost reglat necorespunzător.	Se asigură un potențial de carbon corespunzător.
Deformarea pieselor	Tensiunile apărute în piese, tensiuni remanente de la prelucrările mecanice anterioare, tensiunile termice, tensiunile structurale.	Pregătirea corespunzătoare a structurii inițiale și înlăturarea stării ecruisate după prelucrările mecanice; așezarea corectă în dispozitive; stabilirea corectă a parametrilor tehnologici; asigurarea uniformității carburării.
Adâncimea de carburare necorespunzătoare	Regimul nu a fost corect ales, șarja a fost prea mare, existența impurităților în spațiul de carburare.	Regim corect, șarjă corespunzătoare.
Distribuția necorespunzătoare a carbonului pe adâncimea stratului	Temperatura prea mică, încălzire cu viteză prea mare.	Stabilirea corectă a regimului de carburare.
Neuniformitatea stratului carburat	Neuniformitatea temperaturii, neomogenitatea mediului de carburare, alimentarea incorectă cu gaz, curățarea incompletă a pieselor.	Stabilirea corectă a regimului de carburare.
Structură grosolană în strat și în miez	Durate mari, temperaturi ridicate, tratamente termice după carburare necorespunzătoare.	Aplicarea unui regim corect.
Exfolierea stratului	Variații bruște ale conținutului de carbon în strat.	Regim corect de carburare și de tratament termic după carburare.

Tabelul 7.2. Defecte de nitrurare

Denumirea defectului	Cauza apariției	Modalități de prevenire și de înlăturare
Deformarea pieselor	Nerespectarea tehnologiei de tratament preliminar, așezarea necorespunzătoare, protecție neuniformă, formă constructivă neadekvată nitrurării (nesimetrie, variații mari de grosime).	Respectarea tehnologiei, eliminarea încovoierii pieselor sub acțiunea greutatei proprii, piesele lungi să fie așezate în poziție verticală, piesele cu configurație complexă (de ex.: arbori cotiți) să fie roțite în timpul nitrurării, temperatura să fie uniformă pe înălțimea și secțiunea zonei de lucru.
Fragilitatea și exfolierea stratului	Suprasaturarea cu azot a stratului, nerespectarea regimului de tratament preliminar, decarburarea stratului înaintea nitrurării.	Respectarea tehnologiei, îndepărtarea prin rectificare a zonei fragile (10-50 mm), fără a micșora duritatea.
Duritate necorespunzătoare	Nerespectarea tehnologiei, temperatură prea mare, întreruperi în alimentarea cu amoniac, nerespectarea tehnologiei de tratament preliminar.	Respectarea tehnologiei de tratament preliminar și de nitrurare.
Adâncimea mică a stratului	Temperatură scăzută, durată de nitrurare prea mică.	Respectarea tehnologiei; uneori, repetarea nitrurării.
Fisurarea stratului	Forma piesei (complicată, colțuri și margini ascuțite), decarburare înainte de nitrurare, tratament preliminar necorespunzător.	Respectarea tehnologiei, alegerea corespunzătoare a formei piesei.
Astuparea conductelor de admisie și de evacuare	Poate apărea din cauza unor precipitate ce se formează la reacțiile amoniacului cu diferiți compuși chimici. Astuparea conductelor duce la creșterea presiunii în cuptor.	Lărgirea conductelor, tratarea lor periodică cu o soluție acidă diluată, folosirea apei distilate, folosirea unui dispozitiv de drenaj care să înlăture impuritățile din conducte. Renunțarea la coturi și unghiuri drepte, folosirea conductelor cu diametru peste ¼".

## 7.6. ECHIPAMENTE, UTILAJE ȘI SDV-URI SPECIFICE TRATAMENTELOR TERMICE

## Cuptoare de încălzire

Pentru tratamente termice, se folosesc aceleași cuptoare de încălzire studiate în cadrul Temei 6.

## Băi de încălzire

Pentru încălzirea pieselor în vederea efectuării tratamentului termic, în afară de cuptoare, se utilizează băi de topituri de săruri și băi de topituri de aliaje metalice.

**Băile de topituri de săruri** sunt cuve încălzite, în care se găsesc amestecuri de săruri aflate în stare topită. Ele pot asigura temperaturi de lucru scăzute (150...600 °C), medii (550...900 °C) sau înalte (900...1350 °C). Temperaturile joase ale băilor de săruri se realizează cu rezistori (Fig. 7.19.). În cazul temperaturilor medii și ridicate, încălzirea băilor se realizează cu ajutorul unor electrozi (Fig. 7.20.).

Utilizarea acestor băi este limitată pentru piese de dimensiuni nu prea mari, care să nu necesite cantități prea mari de topituri.

**Băile de topituri de aliaje metalice** sunt cuve încălzite, în care se găsesc metale sau amestecuri de metale aflate în stare topită.

## Băi de răcire

Băile de răcire sunt cuve în care se află medii de răcire precum apa și uleiul mineral.

Aceste băi se construiesc în mai multe variante, de la bazinul mic transportabil până la cel automatizat.

Căldura preluată de la piese este eliminată prin diferite sisteme, în funcție de productivitatea cerută bazinului. Pentru producții specifice, de câteva kg/h, se folosesc bazine nerăcite sau cu cămașă de răcire exterioară (Fig. 7.21. a, b). Pentru o productivitate mai mare, mediul de călire este răcit cu serpentină de apă (Fig. 7.21. c) sau cu un radiator prin care circulă apă rece în circuit închis (Fig. 7.21. d). Pentru productivități ridicate și piese mari, se folosește instalația de răcire prin recirculare, cu pompă și un sistem cu turn de răcire separat (Fig. 7.21. e).

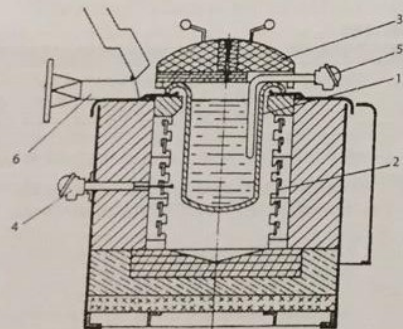


Fig. 7.19. Cuptor cu baie de sare cu rezistori: 1 - creuzet; 2 - rezistoare electrice; 3 - capac; 4, 5 - termocupluri; 6 - exhaustor.

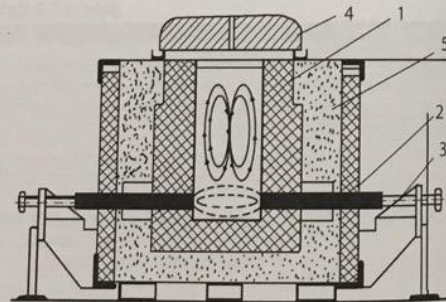


Fig. 7.20. Cuptor cu baie de sare cu electrozi: 1 - creuzet; 2 - electrozi; 3 - sistem de reglare a distanței dintre electrozi; 4 - capac; 5 - zidărie.

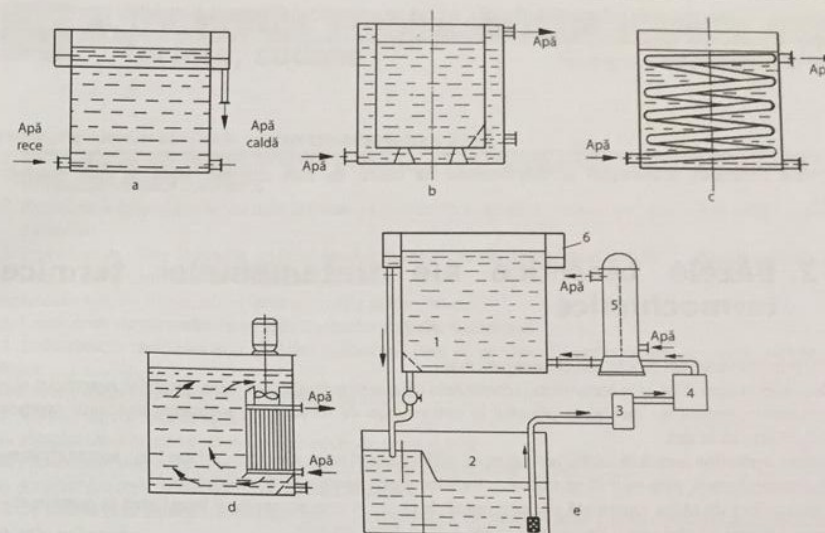


Fig. 7.21. Sisteme de răcire a mediului în bazine de călire: a - răcire naturală; b - bazin cu cămașă de apă de răcire; c - bazin cu serpentină de apă; d - bazin cu radiator; e - bazin cu pompă de recirculare. 1 - bazin de călire; 2 - bazin-tampon; 3 - filtru; 4 - pompă; 5 - turn de răcire; 6 - inel de deversare.

## TEME ȘI TESTE RECAPITULATIVE



## 1. Tratamente termice preliminare și finale

I. Răspunde prin adevărat sau fals la următoarele afirmații:

1. După scopul urmărit, tratamentele termice se clasifică în tratamente termice preliminare (sau primare), tratamente termice intermediare și tratamente termice finale (sau secundare).
2. Tratamentele termice sunt operații de încălzire urmate de răcire, în condiții bine determinate, efectuate cu scopul de a modifica structura inițială a materialelor metalice.
3. Tratamentele termice se efectuează într-un mediu activ din punct de vedere chimic, rezultatul fiind modificarea compoziției chimice a straturilor superficiale ale produsului metalic.
4. Prin tratamente termice și termochimice se obțin caracteristici mecanice și tehnologice superioare.
5. Tratamentele aplicate pe parcursul derulării procesului tehnologic se numesc *tratamente termice secundare*.
6. Tratamentele termochimice se aplică cu scopul de a mări fie duritatea, fie rezistența la coroziune sau la uzură a stratului superficial, cu menținerea plasticității și a tenacității miezului.

II. Completează spațiile libere, astfel încât afirmația să fie corectă:

1. Din categoria tratamentelor termice preliminare fac parte toate tipurile de .....
2. Din categoria tratamentelor termice finale fac parte ..... și .....
3. Tratamentele termochimice se realizează prin încălzirea pieselor în anumite substanțe care au proprietatea de a ceda atomi ce difuzează în stratul ..... al piesei.

III. Întocmește, în laboratorul de informatică al școlii, o Fișă recapitulativă. Răspunde la cerințele cuprinse în ea și apoi adaug-o în portofoliul modului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împrășpezi cunoștințele.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

Prezintă parametrii tehnologici ai tratamentului de călire, de care depinde obținerea unei structuri corespunzătoare.



## 2. Bazele teoretice ale tratamentelor termice și termochimice

I. Răspunde prin adevărat sau fals la următoarele afirmații:

1. Recoacerea oțelurilor este tratamentul termic prin care se urmărește durificarea stratului superficial al piesei.
2. Recoacerea constă în: încălzirea pieselor la temperatura de recoacere, menținerea la această temperatură și răcirea bruscă în apă.
3. Călirea oțelurilor constă în încălzirea acestora, astfel încât să se producă, parțial sau total, austenitizarea, urmată de o răcire bruscă, prin care să se realizeze transformarea martensitică a austenitei.
4. Viteza critică de călire reprezintă viteza minimă de răcire la care austenita se transformă în martensită.
5. Fiecare marcă de oțel este caracterizată printr-o călibilitate proprie.

II. Completează spațiile libere, astfel încât afirmația să fie corectă.

1. Prin călire a oțelurilor se înțelege tratamentul termic prin care se urmărește obținerea unei stări în afară de echilibru, în care constituentul principal îl reprezintă .....
2. Noțiunea de călibilitate reprezintă ..... de pătrundere a călirii.
3. Fontele sunt supuse recoacerii fie pentru ....., fie pentru modificarea structurii masei metalice de bază.
4. După călire, oțelurile devin, în general, prea ..... și, uneori, mai ..... decât este necesar. Pentru a fi exploatate în bune condiții, ele sunt supuse unui tratament termic numit *revenire*.

III. Întocmește, în laboratorul de informatică al școlii, o Fișă recapitulativă. Răspunde la cerințele cuprinse în ea și apoi adaug-o în portofoliul modului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împrășpezi cunoștințele.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Clasifică tratamentele termice și termochimice.
2. Enumeră parametrii unui tratament termic.
3. Modificarea structurii determină schimbarea proprietăților mecanice, fizice sau tehnologice ale materialelor metalice. Precizează aceste schimbări.



## 3. Tratamente termice aplicate pieselor turnate, forjate, sudate

I. Răspunde prin adevărat sau fals la următoarele afirmații:

1. Recoacerea de recristalizare se aplică produselor din oțel de dimensiuni mari și urmărește să uniformizeze compoziția chimică a acestora.
2. Recoacerea de grafitizare (de maleabilizare) se aplică fontelor albe și are scopul de a le îmbunătăți caracteristicile mecanice.
3. Procedul de călire obișnuită, aplicat pieselor din oțel-carbon cu mai mult de 0,8% C, duce la apariția tensiunilor interne mari, care determină formarea fisurilor.

II. Completează spațiile libere, astfel încât afirmația să fie corectă.

1. Recoacerea de normalizare se aplică pieselor turnate, sudate sau .....
2. Îmbătrânirea metalelor și a aliajelor neferoase, care se produce la temperatura obișnuită, poartă numele de

îmbătrânire .....

III. Încercuiește litera corespunzătoare răspunsului corect.

1. Călire superficială se aplică:

- a. pieselor din oțel cu un conținut de carbon de peste 0,6 %;
- b. pieselor din oțel cu un conținut de carbon cuprins între 0,35 și 0,5%;
- c. pieselor din oțel, indiferent de conținutul în carbon.

2. La călire prin inducție, încălzirea piesei se realizează cu ajutorul unui curent de înaltă frecvență, care trece:

- a. prin inductor;
- b. prin piesă;
- c. prin inductor și prin piesă.

3. În urma tratamentului de revenire, oțelul devine:

- a. mai dur, dar scade rezistența la tracțiune, șoc și tenacitate;
- b. rămâne la fel de dur, dar devine mai tenace;
- c. devine mai tenace, duritatea se micșorează, iar rezistența la tracțiune și șoc cresc.

4. Pieselor care trebuie să fie elastice în exploatare li se aplică revenirea:

- a. joasă;
- b. medie;
- c. înaltă.

IV. Întocmește, în laboratorul de informatică al școlii, o Fișă recapitulativă. Răspunde la cerințele cuprinse în ea și apoi adaug-o în portofoliul modului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împrășpezi cunoștințele.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

1. Prezintă, pe scurt, procedeele de călire studiate.
2. Prezintă cele trei tipuri de revenire, menționând piesele la care acestea se pretează.



## 4. Tratamente termochimice

I. Răspunde prin adevărat sau fals la următoarele afirmații:

1. Tratamentele termochimice se aplică, în cea mai mare măsură, aliajelor Fe-C și, în special, oțelurilor.
2. Oțelurile supuse cementării se numesc oțeluri de cementare și au un conținut de carbon cuprins între 0,08 și 0,2% (max. 0,25%, pentru piese mai mari).
3. Cementarea este tratamentul termochimic de îmbogățire cu carbon a straturilor superficiale ale pieselor din oțel cu conținut scăzut de carbon și constă în încălzirea la o anumită temperatură, într-un mediu capabil să cedeze carbon.
4. Nitruarea este tratamentul termochimic care constă în îmbogățirea cu nichel a stratului superficial al pieselor de oțel.
5. Carbonitrurarea este tratamentul termochimic efectuat într-un mediu lichid capabil să cedeze carbon și azot activ.

II. Completează spațiile libere, astfel încât afirmația să fie corectă:

1. Cementarea în mediu solid se produce într-un mediu bogat în carbon, de exemplu .....
2. Răcirea de la temperatura de nitruare se efectuează în ....., astfel încât în oțel nu se produc tensiuni de contracție.
3. Nitruarea este însoțită de o ușoară ..... a suprafeței tratate, ceea ce obligă la corectarea dimensiunilor obținute în urma prelucrărilor mecanice.
4. Carbonitrurarea la temperaturi joase se aplică oțelurilor ....., în vederea măririi durabilității sculelor.

III. Întocmește, în laboratorul de informatică al școlii, o Fișă recapitulativă. Răspunde la cerințele cuprinse în ea și apoi adaug-o în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împărtășești cunoștințele.

### Lucrați în echipă.

Formați grupe de 4 elevi și efectuați o vizită de documentare la un agent economic. Culegeți informații referitoare la tehnologia de realizare a tratamentelor termochimice. Executați fotografiile ale SDV-urilor și utilajelor utilizate și realizați un colaj pe această temă.

### FIȘĂ RECAPITULATIVĂ

Prezintă procedeele de cementare și nitruare.

Întocmește, în laboratorul de informatică al școlii, o Fișă recapitulativă. Răspunde la cerințele cuprinse în ea și apoi adaug-o în portofoliul modulului „Bazele procedeelor de prelucrare la cald”. Folosește această fișă ori de câte ori ai nevoie să-ți împărtășești cunoștințele.

1. Descrie, pe scurt, cuptoarele utilizate la încălzirea pieselor, în vederea aplicării tratamentelor termice.
2. Prezintă regulile de protecția muncii specifice secțiilor de tratament termic.

### BIBLIOGRAFIE

1. Amza, Gh. ș.a. – *Tratat de tehnologia materialelor*, Editura Academiei Române, București, 2002.
2. Atanasiu, N.; Arieșanu, E.; Peptea, Gh. – *Utilajul și tehnologia lucrărilor mecanice, Manual pentru licee industriale, de matematică-fizică și de filologie-istorie, clasele a IX-a și a X-a*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
3. Badea, S. – *Forjarea și extrudarea materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
4. Ciocîrlea-Vasilescu, A.; Neagu, I.; Spornic, Olguța-Laura; Arieș, Ioana; Bușe, Manuela-Ianina – *Tehnologii de elaborare și prelucrare a semifabricatelor*, Edit. Cvasidocumentația Proser și PRINTECH, București, 2006.
5. Ciocîrlea-Vasilescu, A. și colaboratorii – *Elemente de inginerie industrială – vol I; Ingineria sistemelor tehnologice de prelucrare la cald*, Edit. Cvasidocumentația Proser și PRINTECH, București, 2008.
6. Cuculeanu, G. – *Tehnologii industriale și de construcții*, București, ASE, 2000.
7. Cuculeanu, G. – *Tehnologie industrială*, București, ASE, 1995.
8. Miloș, L. – *Bazele prelucrării prin sudare*, Editura Politehnica, Timișoara, 2003.
9. Miloș, L. – *Procese de sudare*, Editura Politehnica, Timișoara, 2006.
10. Pipoșan, I. – *Tehnologia elaborării și turnării fontei*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
11. Popescu, N. – *Studiul materialelor, Manual pentru licee industriale, agroindustriale și silvice, de matematică-fizică și de filologie-istorie, clasa a IX-a*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.
12. Popescu, N. Dumitrescu, C., Munteanu, A. – *Tratamente termice și prelucrări la cald*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
13. Popescu, N., Vitănescu, C. – *Tehnologia tratamentelor termice*, Editura Tehnică, București, 1974.
14. Rădulescu, C., Iordănescu, P., Ionescu, A.D. – *Studiul materialelor, Manual pentru licee industriale, anul I*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
15. Sofroni, L. ș.a. – *Utilajul și tehnologia meseriei - Prelucrător în sectoare calde*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1991.
16. Sofroni, L. ș.a. – *Utilajul și tehnologia turnării aliajelor. Manual pentru licee industriale și cu profil de matematică, meseria turnător, clasa a IX-a, și pentru școli profesionale*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1992.
17. Vermeșan, G. – *Îndrumător pentru tratamente termice*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1987.
18. Voicu, M. ș.a. – *Studiul și tehnologia metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.

## CUPRINS

<b>NOȚIUNI TEHNICE GENERALE</b> .....	3
1.1. Definierea noțiunilor de piesă brută turnată .....	3
1.2. Forma de turnare .....	4
1.3. Garnitura de model. Părți componente .....	5
1.4. Importanța producției de piese turnate în industria constructoare de mașini .....	6
1.5. Echipamente, utilaje, SDV-uri specifice operației de turnare .....	6
1.5.1. Amestecătoare .....	6
1.5.2. Separatoare .....	6
1.5.3. Dispozitive de cernere .....	7
1.5.4. Mașini de formare (presare) .....	7
1.5.5. Uscătoare .....	9
1.5.6. Scule și dispozitive folosite la executarea formelor și a miezurilor .....	10
1.5.7. Mașini de turnare .....	11
1.6. Turnarea manuală .....	12
1.7. Turnarea mecanizată .....	23
1.8. Controlul calității pieselor turnate .....	25
1.9. Defectele pieselor turnate. Cauze .....	26
1.10. Remanierea pieselor cu defecte de turnare .....	30
<b>DEFORMAREA PLASTICĂ PRIN FORJARE</b> .....	34
2.1. Noțiuni introductive .....	34
2.1.1. Deformarea elastică și plastică, starea de tensiune .....	34
2.1.2. Mecanismul deformării plastice .....	36
2.1.3. Legile deformării plastice .....	37
2.1.4. Influența deformării plastice asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale metalelor și ale aliajelor .....	38
2.1.5. Materiale forjabile .....	38
2.2. Procedee de forjare .....	42
2.2.1. Operații de pregătire a materialelor în vederea forjării .....	43
2.2.2. Forjarea liberă .....	45
2.2.3. Forjarea în matrițe .....	48
2.3. Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice operației de forjare .....	51
2.3.1. Cuptoare de încălzire .....	51
2.3.2. Utilaje folosite la forjarea liberă .....	53
2.3.3. Scule specifice operației de forjare .....	55
2.3.4. Utilaje folosite la matrițare .....	57
2.3.5. Scule specifice operației de matrițare .....	58
<b>SUDABILITATEA</b> .....	64
3.1. Definierea sudabilității .....	64
3.1.1. Sudabilitatea metalelor și a aliajelor .....	64
3.1.2. Clasificarea oțelurilor după sudabilitate .....	66
3.1.3. Sudabilitatea altor metale și aliaje .....	67
3.1.4. Tensiuni și deformații la sudare .....	68
3.2. Clasificarea procedeelelor de sudare .....	70
3.2.1. Considerații generale privind sudarea metalelor și a aliajelor .....	70
3.2.2. Procedee de sudare prin topire .....	72
3.2.3. Procedee de sudare prin presiune .....	72
<b>PREGĂTIREA MATERIALELOR ÎN VEDEREA SUDĂRII</b> .....	76
4.1. Operații pregătitoare în vederea sudării .....	76
4.2. Prelucrarea rosturilor de sudare .....	80
4.3. Prinderea provizorie .....	82
<b>SUDAREA CU ELECTROZI ÎNVELIȚI</b> .....	85
5.1. Materiale de adaos folosite la sudare .....	85
5.2. Tehnologia sudării cu electrozi înveliți .....	86
5.3. Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice operației de sudare electrică .....	88
5.3.1. Surse de curent .....	88
5.3.2. Accesorii, scule și dispozitive folosite .....	89
<b>SUDAREA CU FLACĂRĂ DE GAZE</b> .....	93
6.1. Gaze, materiale de adaos și fluxuri folosite la sudare .....	93
6.2. Tehnologia sudării cu flacără de gaze .....	96
6.3. Echipamente, utilaje, SDV-uri folosite la sudarea cu flacără de gaze .....	100
<b>BAZELE TEORETICE ALE TRATAMENTELOR TERMICE ȘI TERMOCHIMICE</b> .....	106
7.1. Definierea și caracterizarea tratamentelor termice și termochimice .....	106
7.2. Tratamente termice preliminare și finale .....	108
7.3. Tratamente termice aplicate pieselor turnate, forjate și sudate .....	110
7.4. Tratamente termochimice .....	116
7.5. Defecte de tratament termochimic: cauze, măsuri de remediere .....	119
7.6. Echipamente, utilaje și SDV-uri specifice tratamentelor termice .....	120
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	125